





[IFT: Viviendo la investigación]
[<https://youtu.be/Y1M5Soh8LwU>]

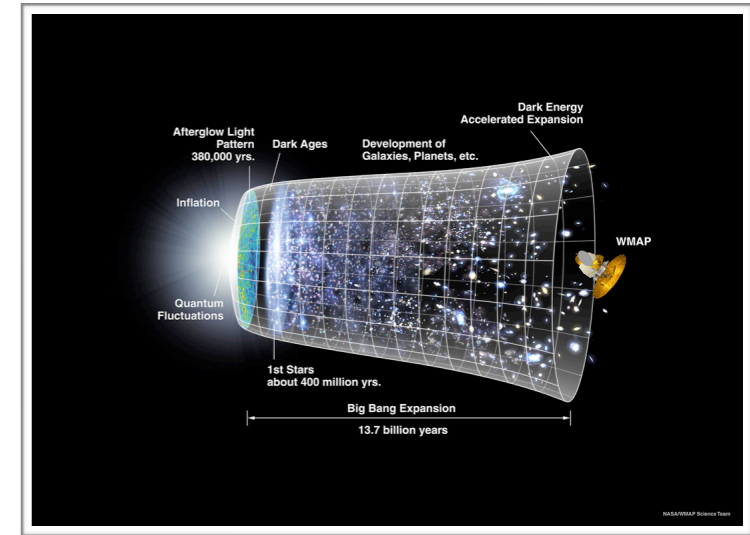
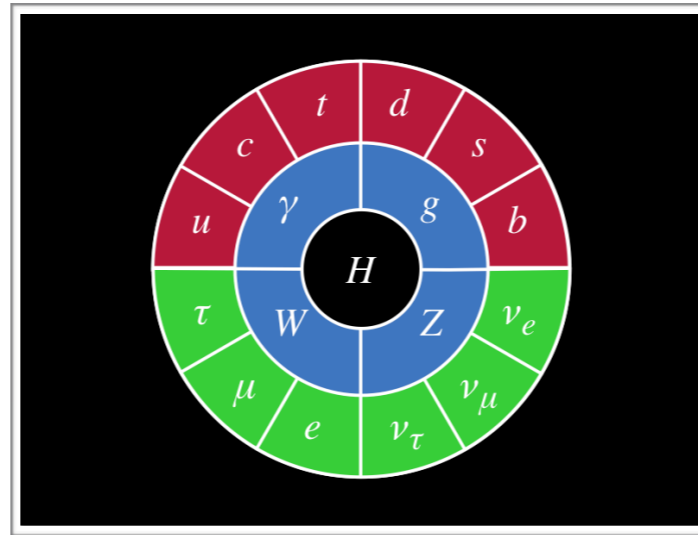
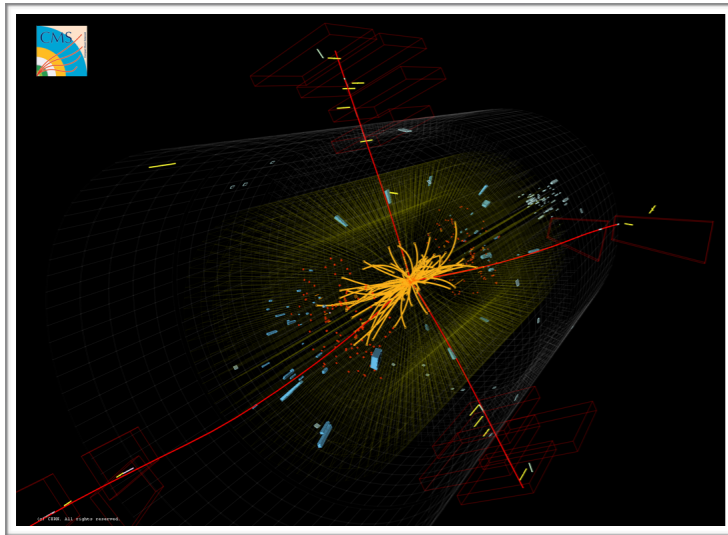


International Masterclass - Hands on Particle Physics 2022



Program

HORARIO	ACTIVIDAD
09:30-09:45	Bienvenida
09:45-10:30	¿De qué estamos hechos? Introducción a la física de partículas: los grandes misterios de la física fundamental <i>Margarita García Pérez</i>
10:30 - 11:20	El Gran Colisionador de Hadrones (LHC) Física en Aceleradores de Partículas <i>Carlos Pena</i>
11:20 - 11:45	Descanso
11:45- 12:45	Desintegraciones del bosón W y del bosón de Higgs Preparación para el ejercicio práctico <i>Xabier Marcano</i>
12:45 - 13:30	Comida
13:30 - 15:30	Práctica: Las desintegraciones del bosón W y del bosón de Higgs Ejercicio con datos reales del LHC
15:30 - 16:00	Descanso
16:00 - 18:00	Puesta en común de los resultados Videoconferencia con otros grupos internacionales y discusión
18:00	Despedida



Aceleradores de partículas: el LHC

Carlos Pena

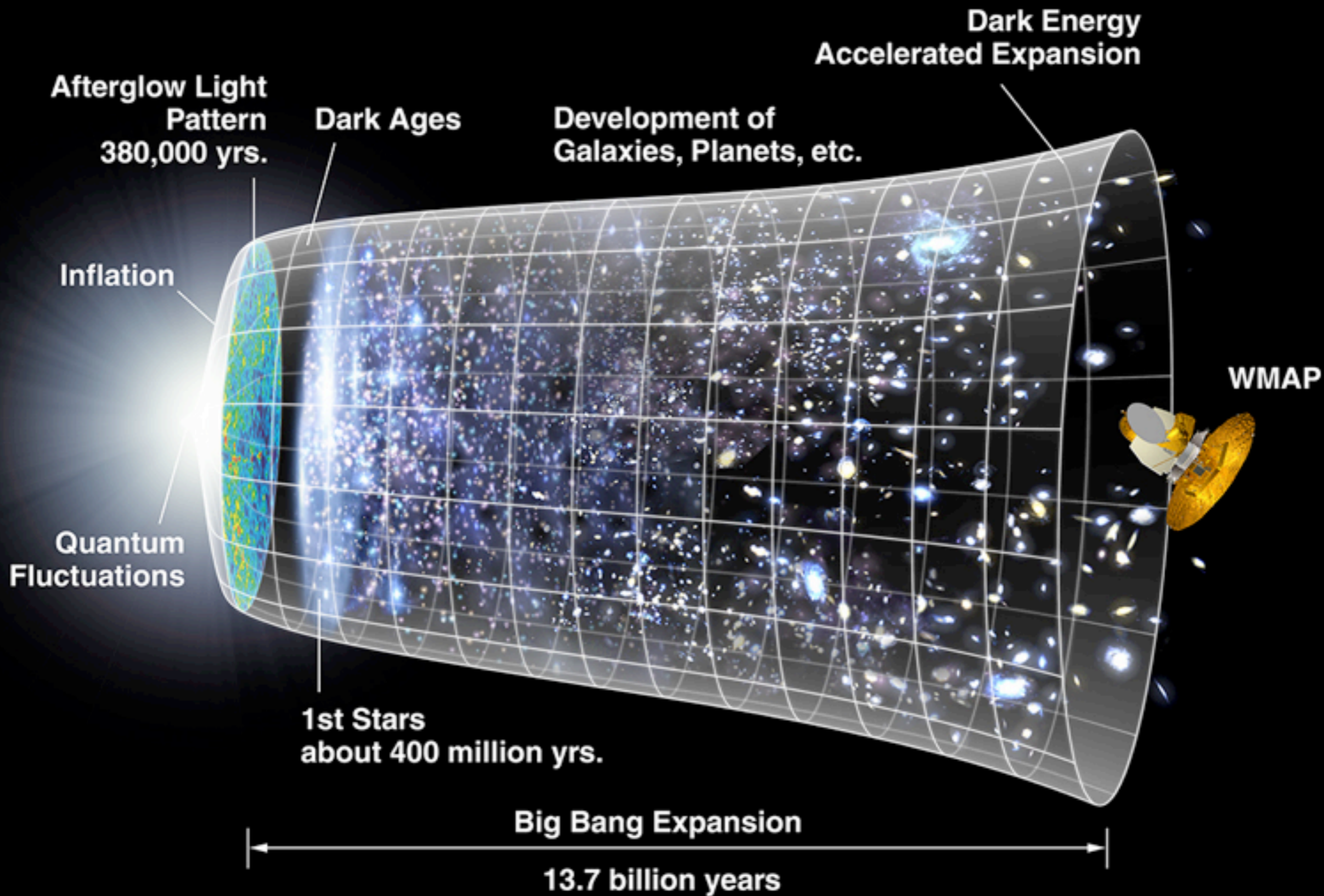


Cosmic Eye

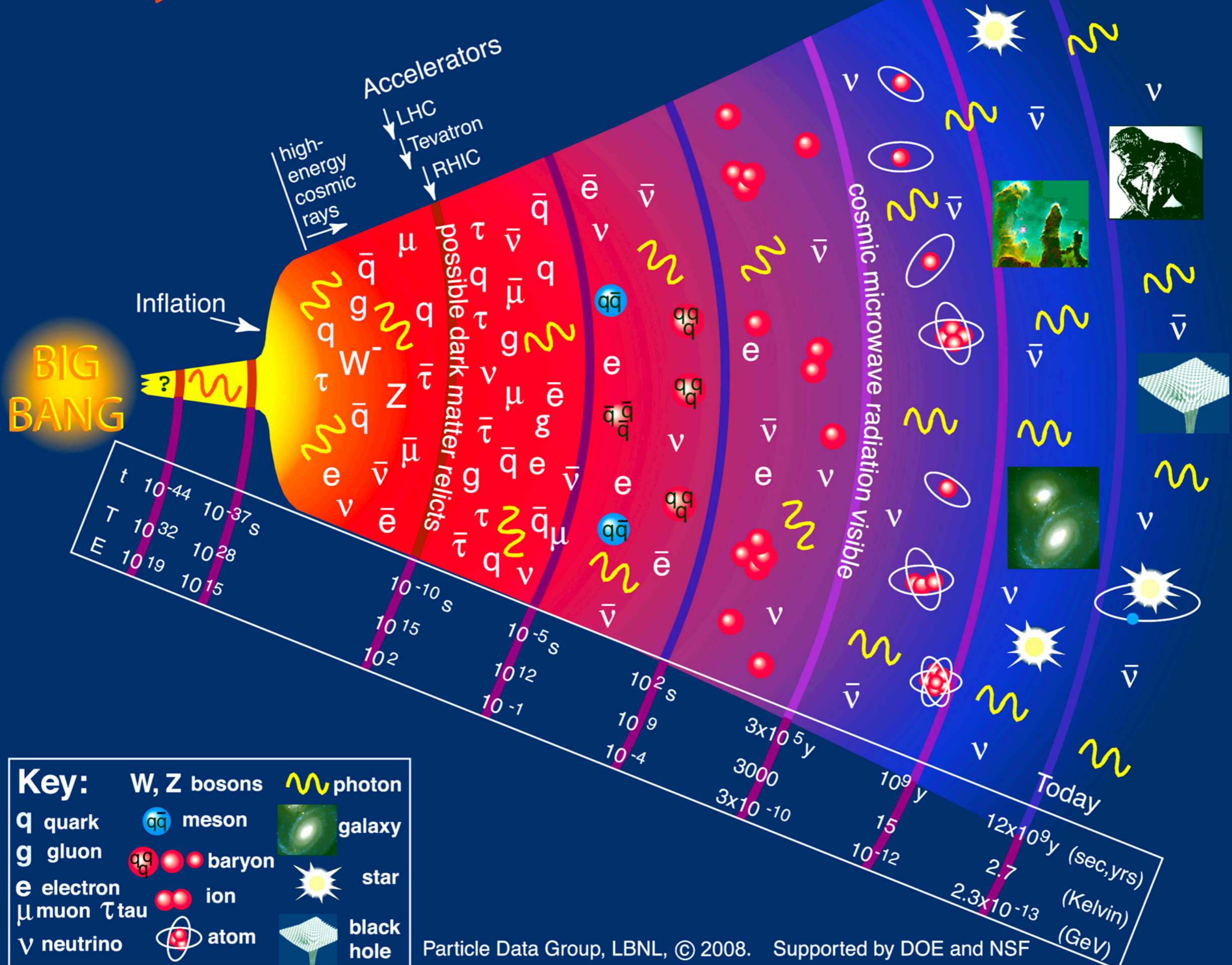
a state-of-the-art view of the universe

version 2.0

Danail Obreschkow

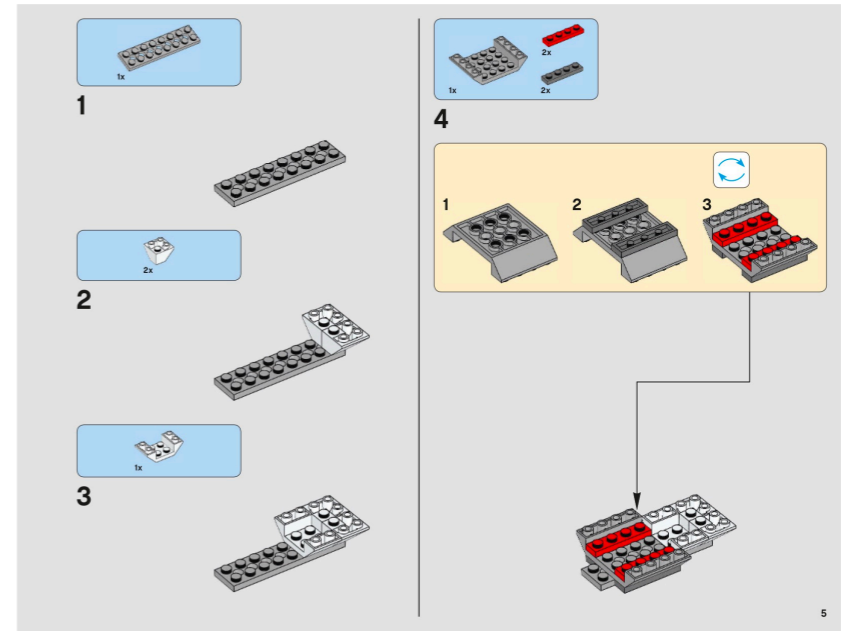
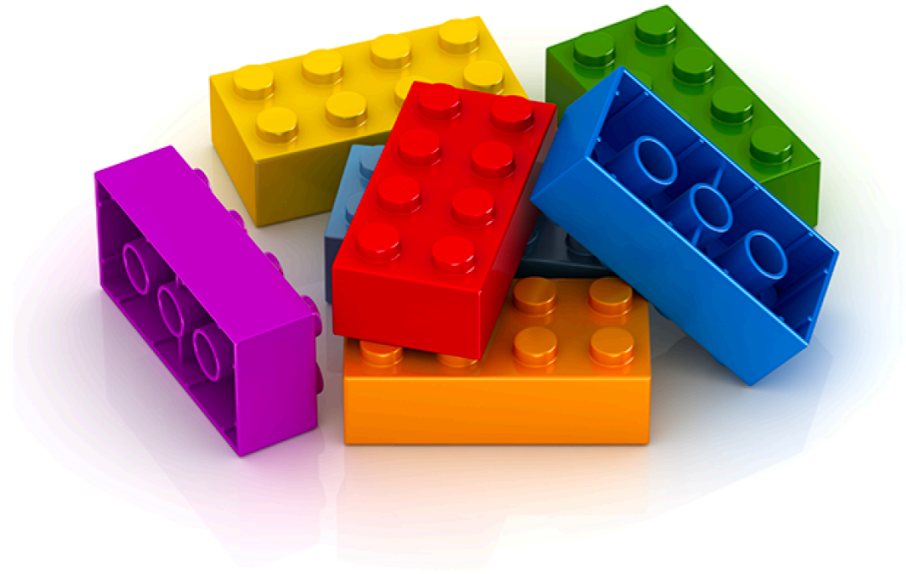


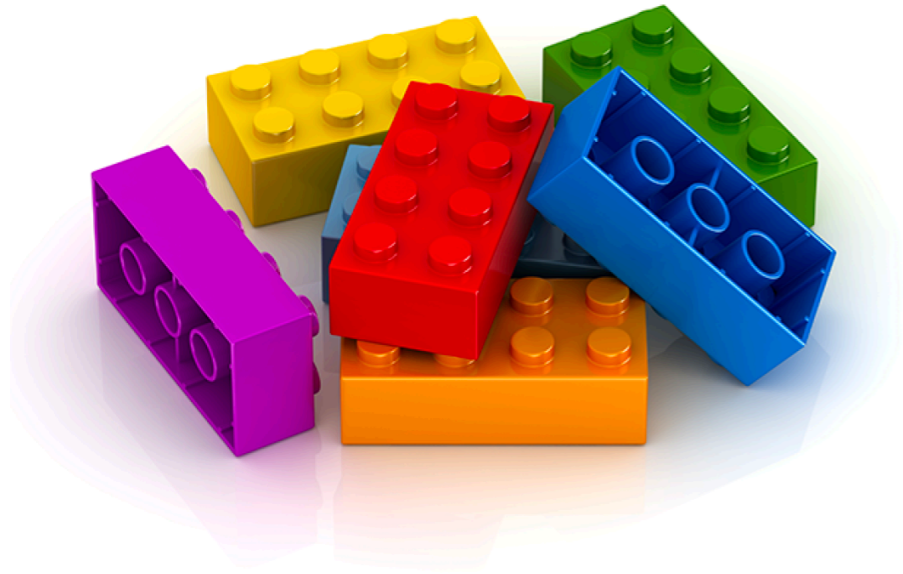
History of the Universe



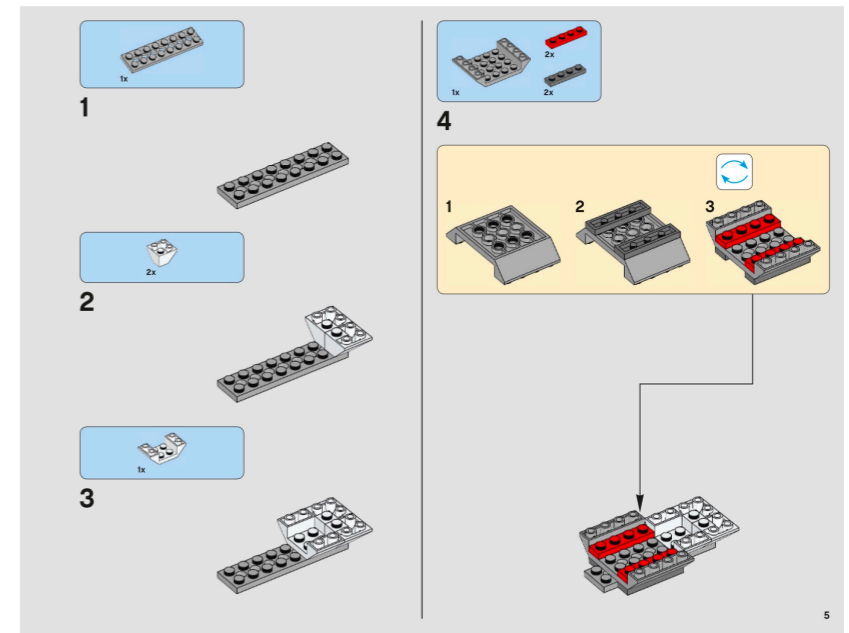
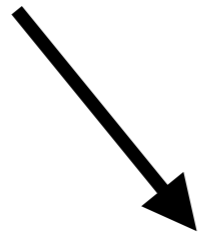
¿de qué estamos hechos?





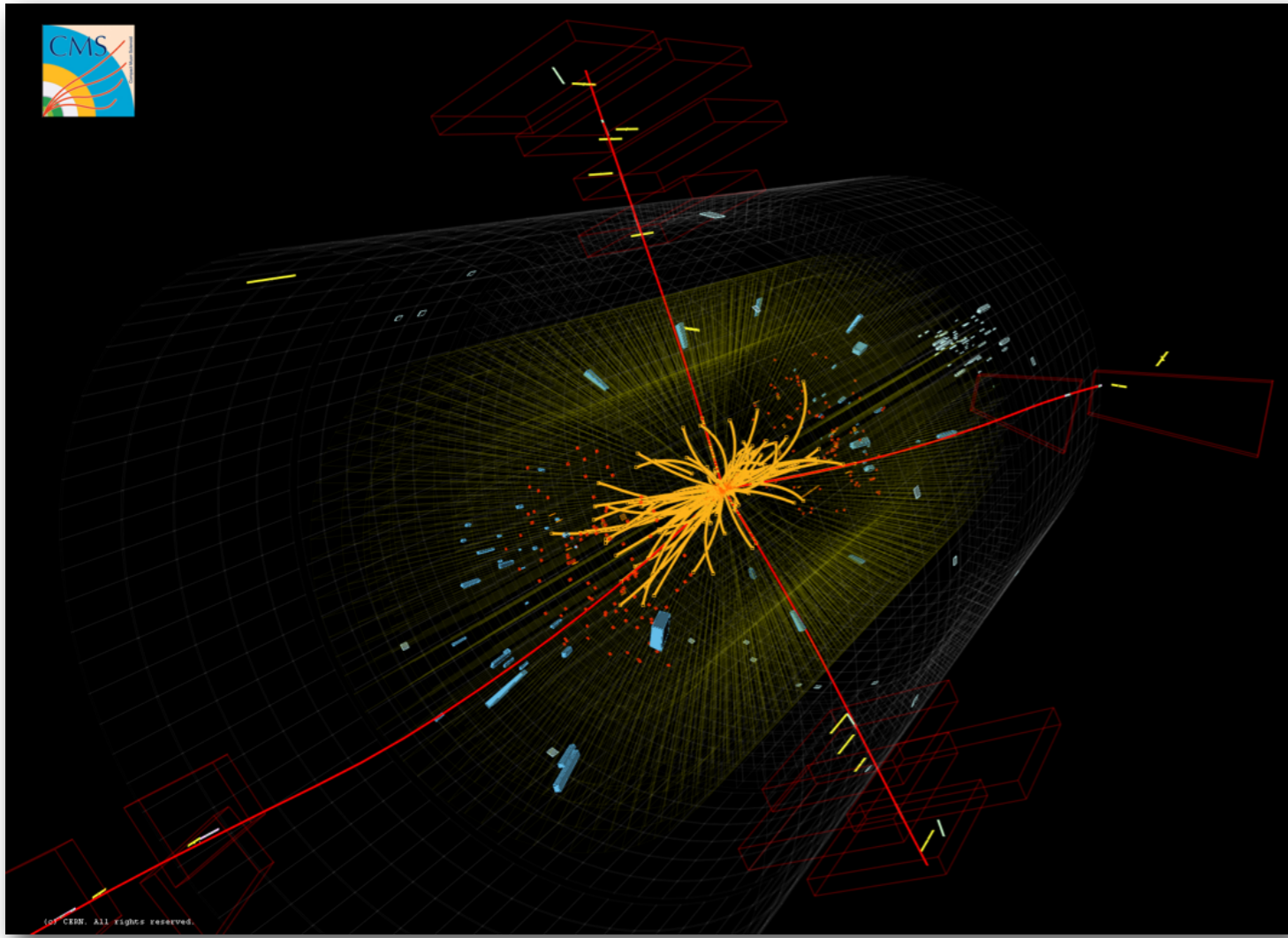


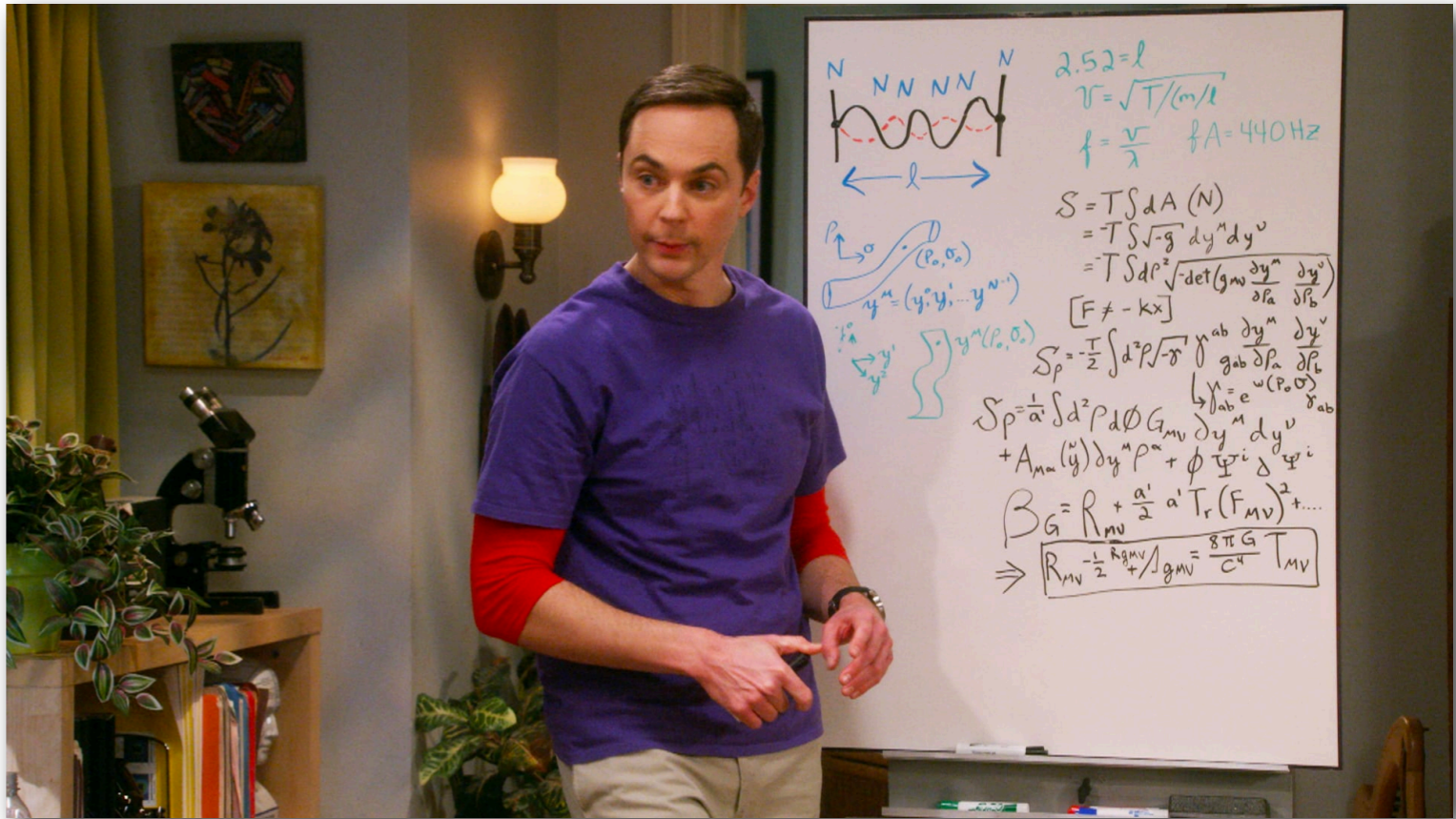
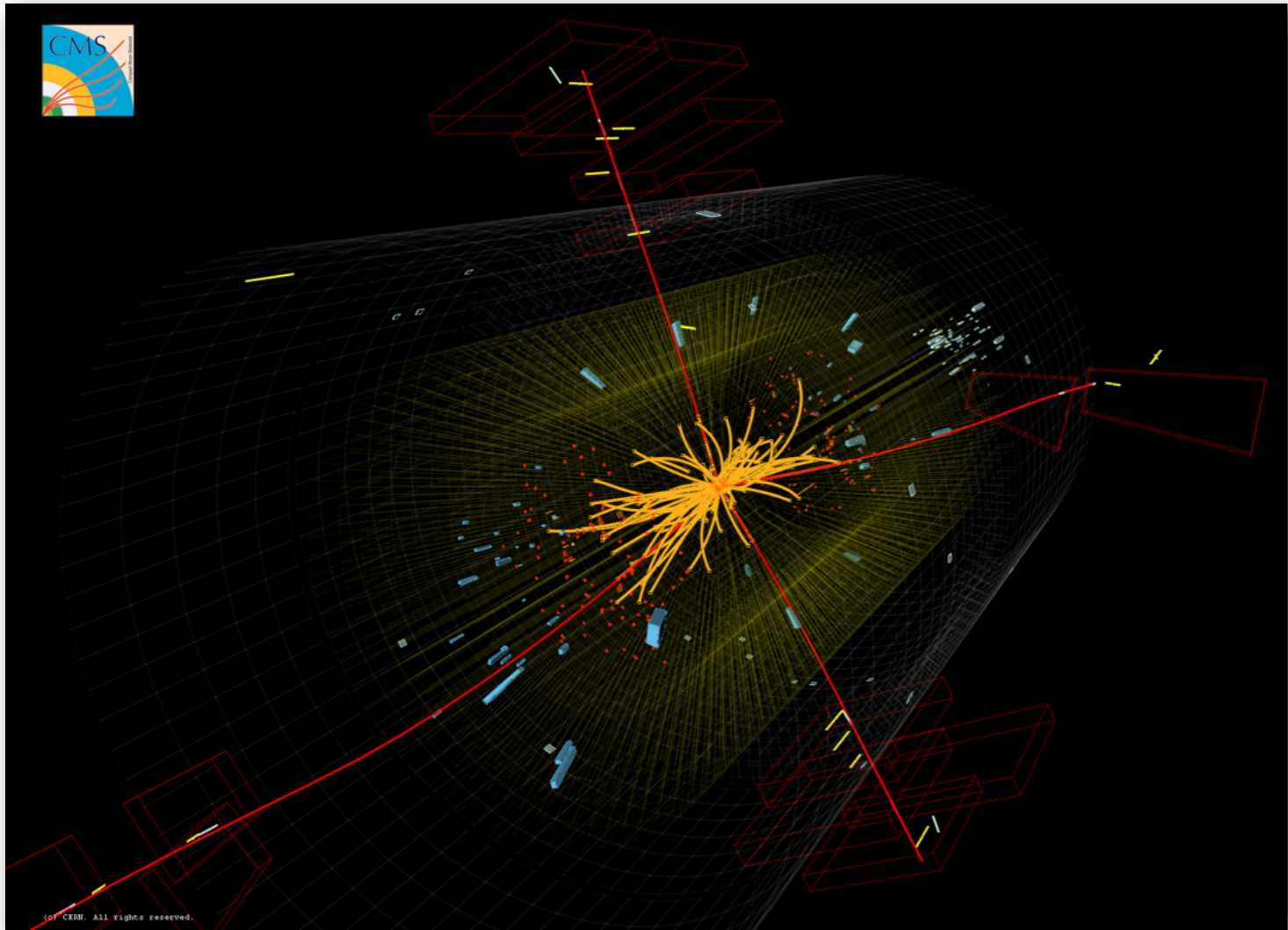
partículas elementales

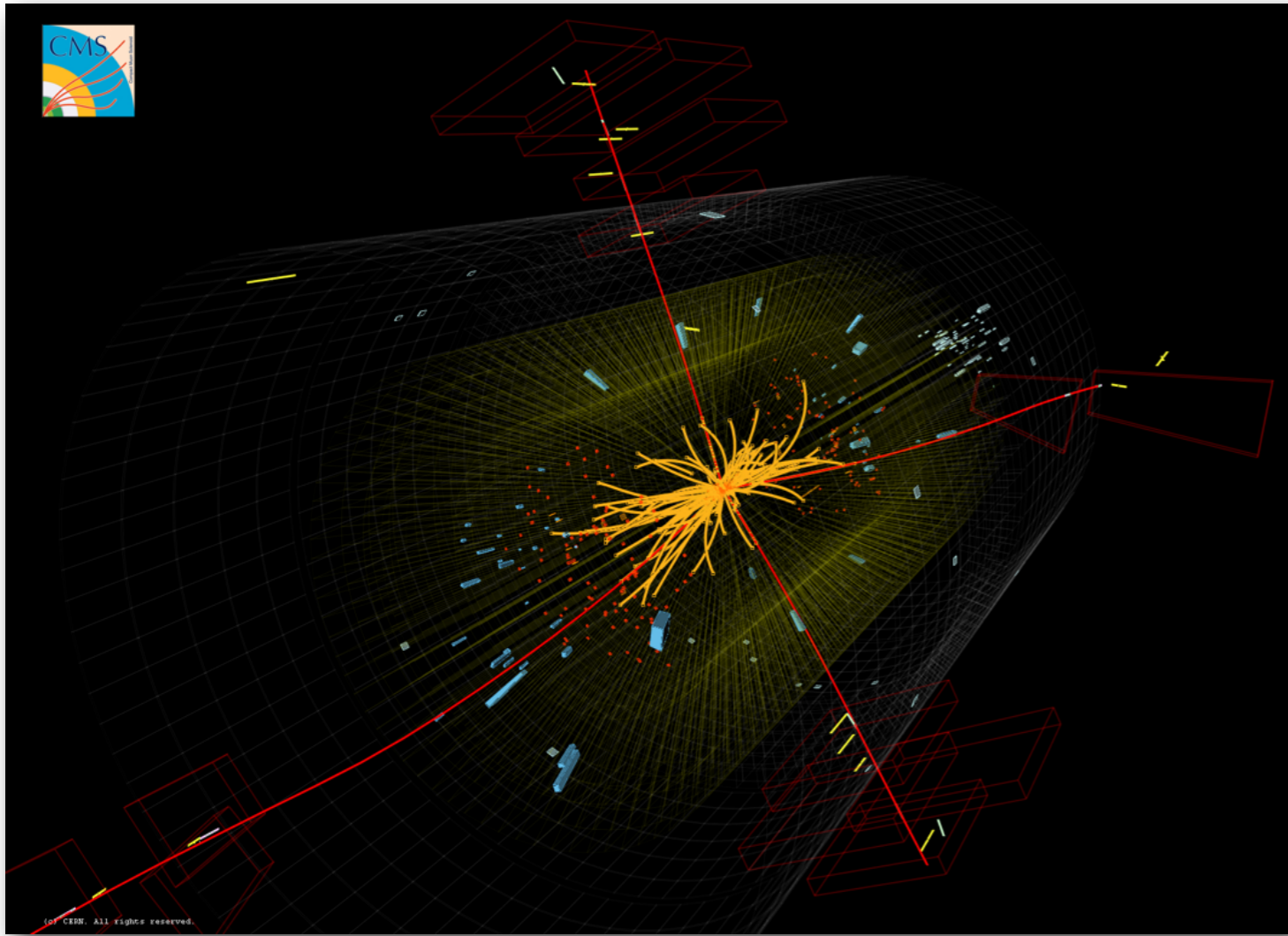


interacciones fundamentales

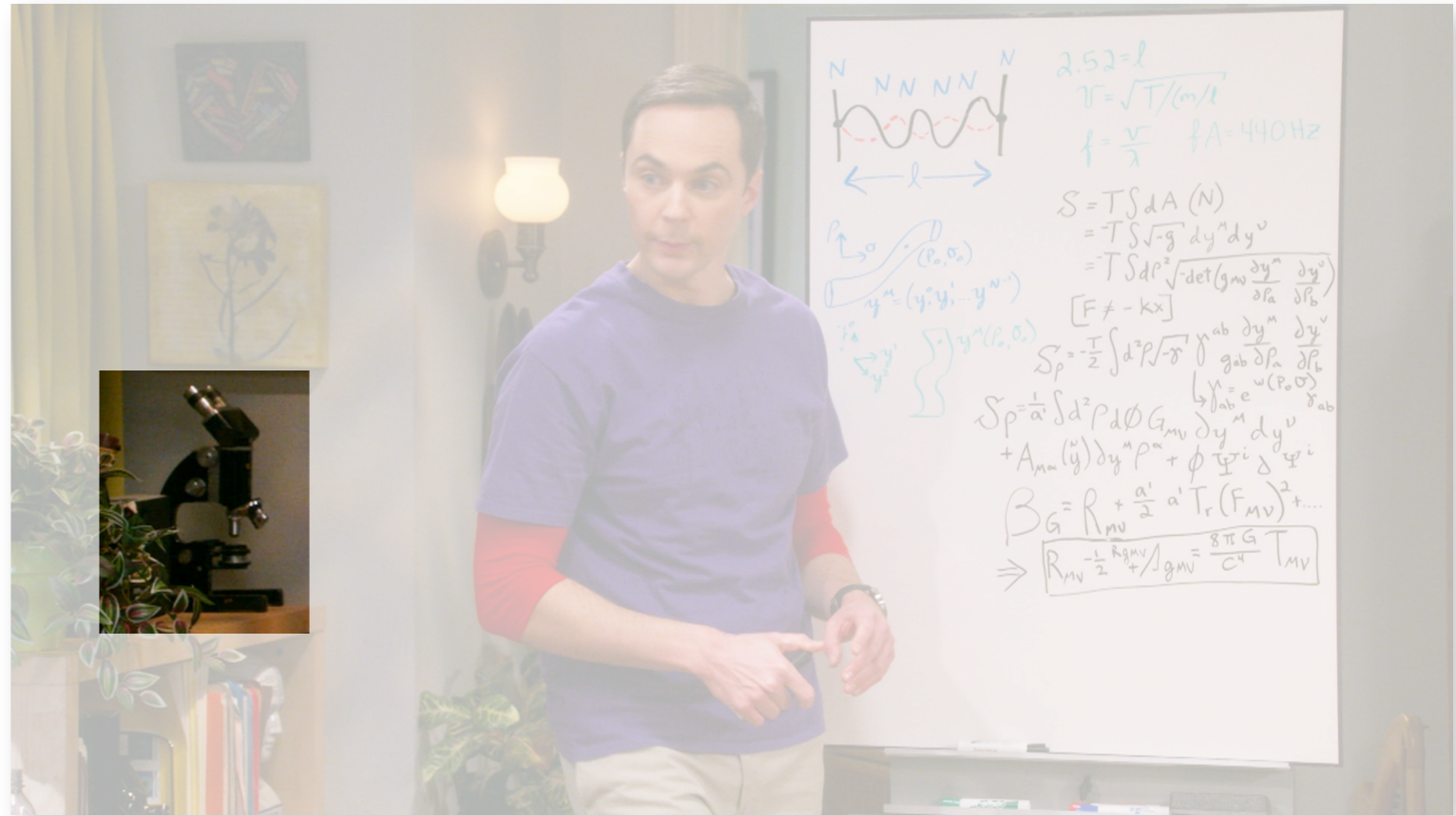




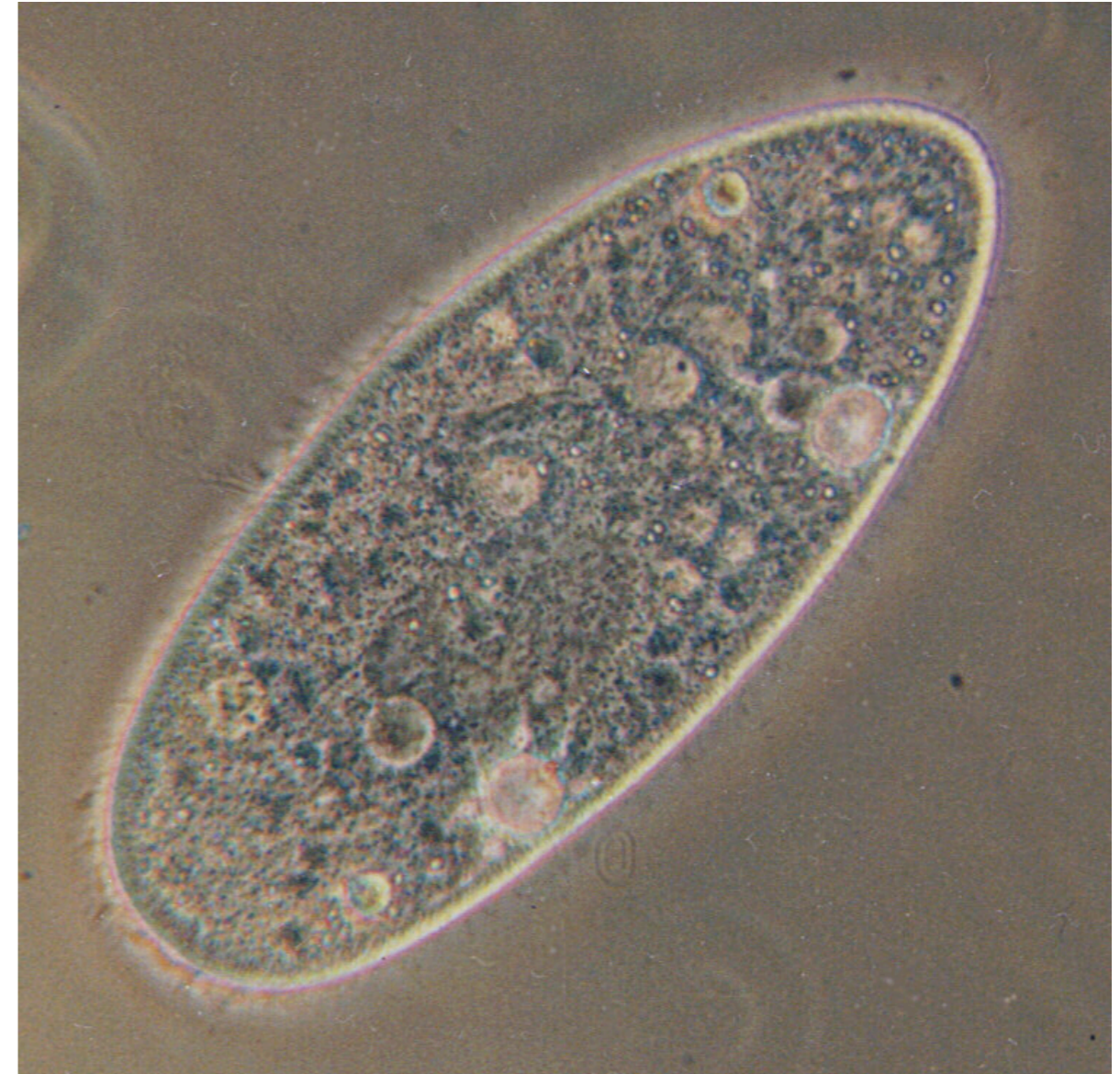
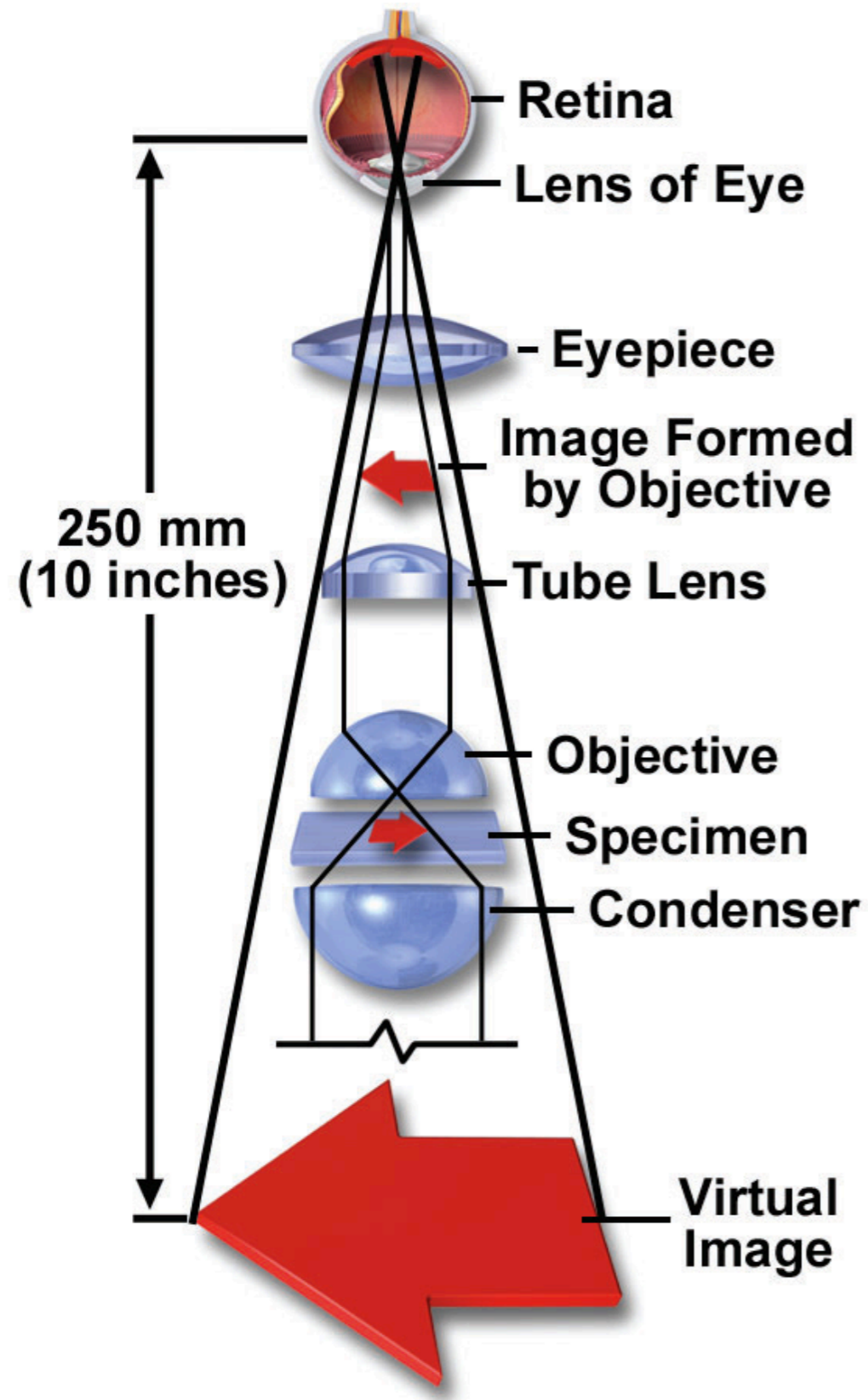




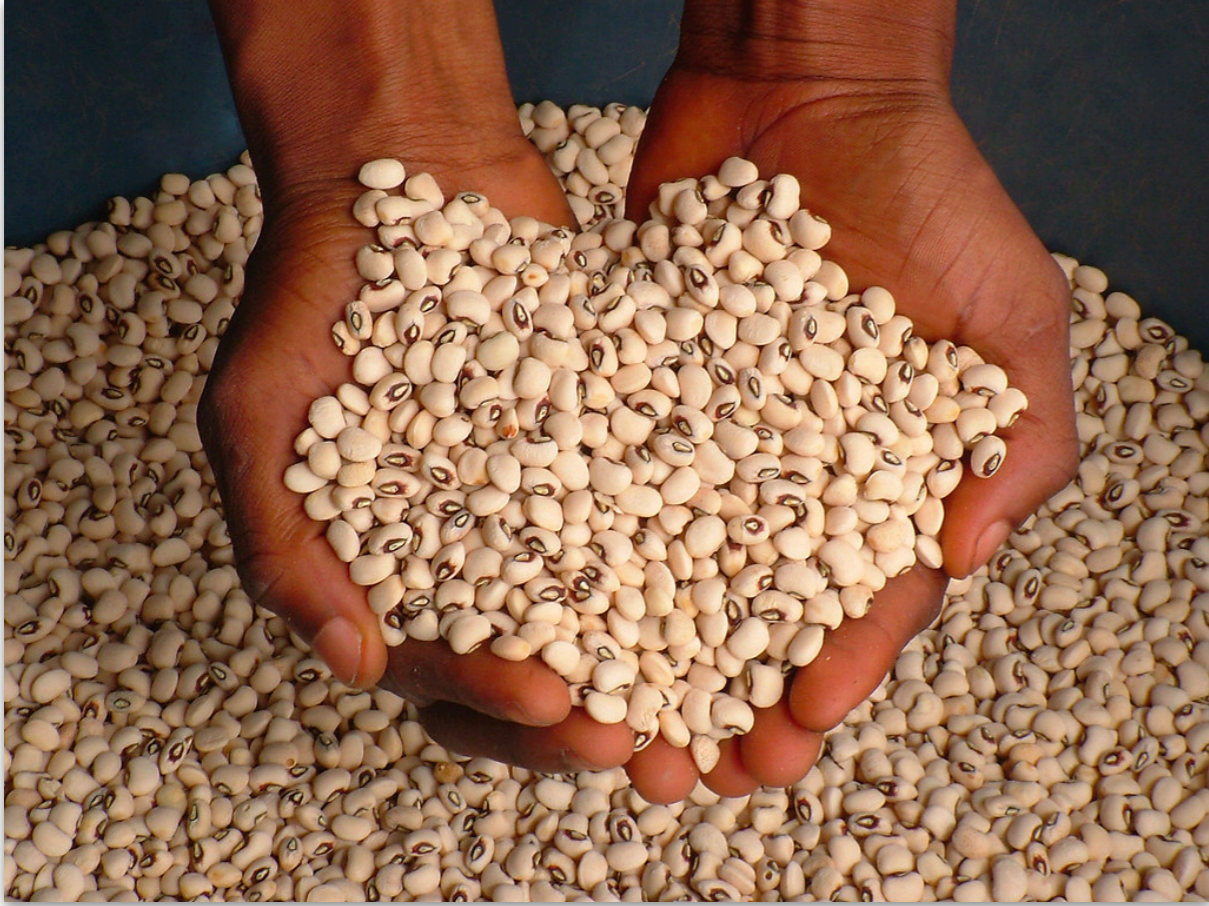
© CERN. All rights reserved.



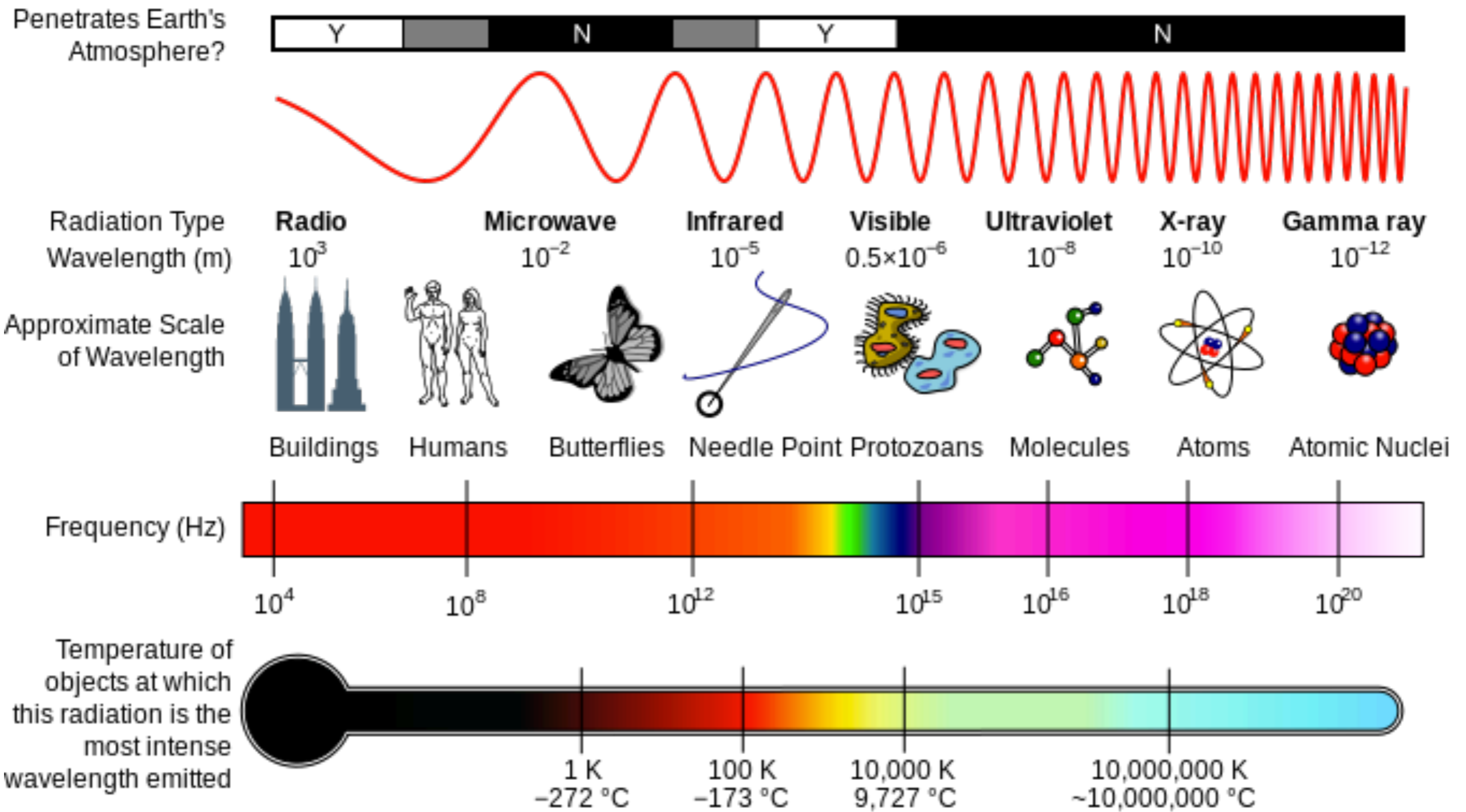
microscopios



microscopios

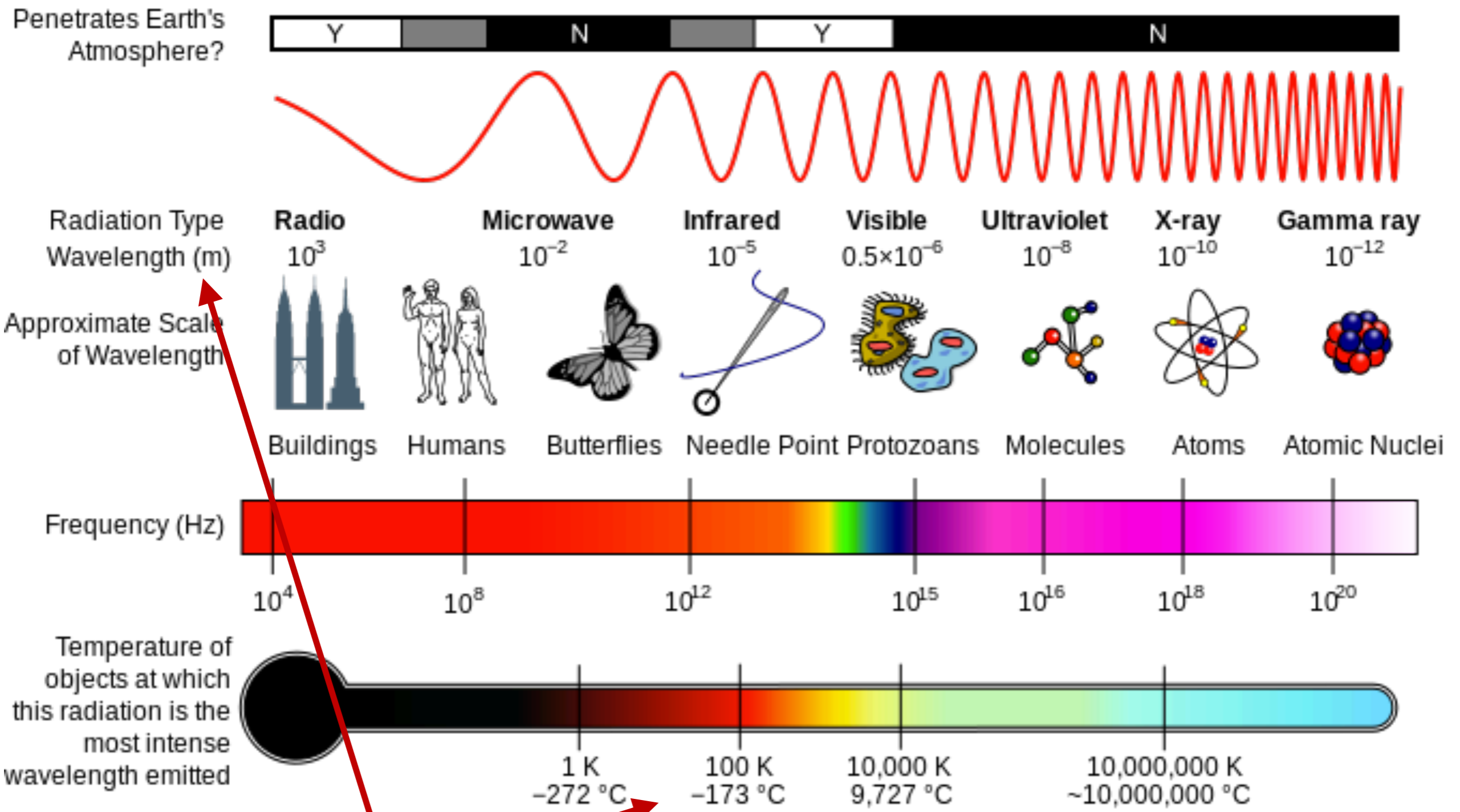


microscopios



[Inductiveload, NASA]

microscopios



energía ~ 1/distancia

[Inductiveload, NASA]

microscopios



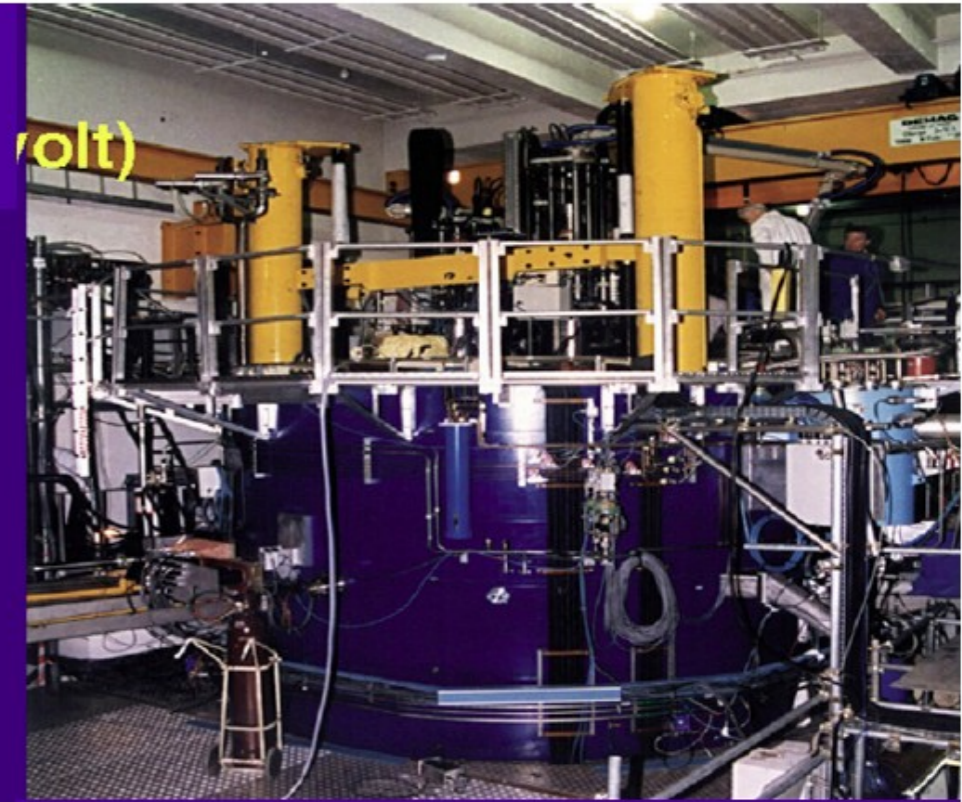
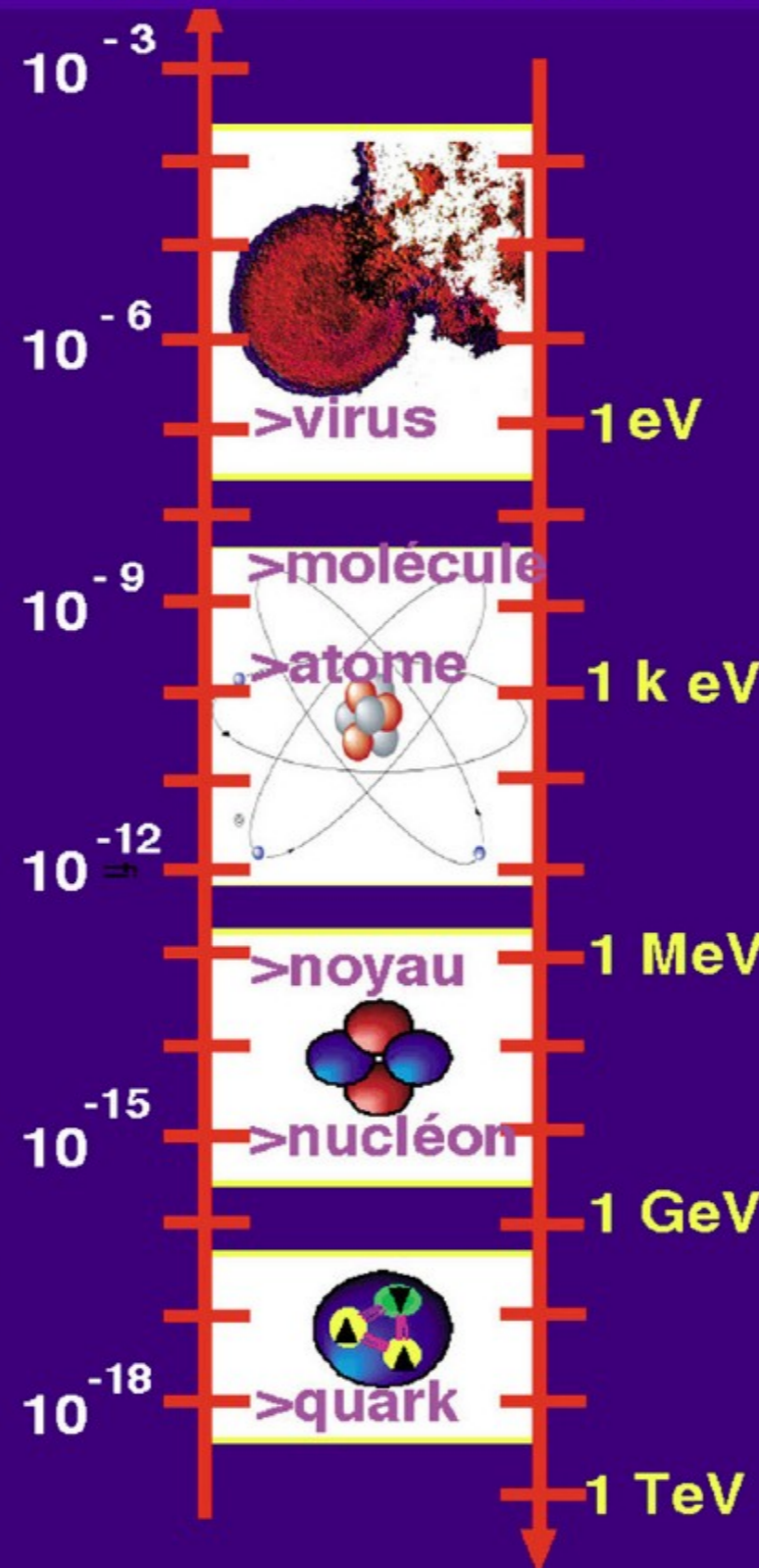
Microscopio Electrónico

Acelerador Lineal



Longitud (metros)

Energía (electron-Volt)

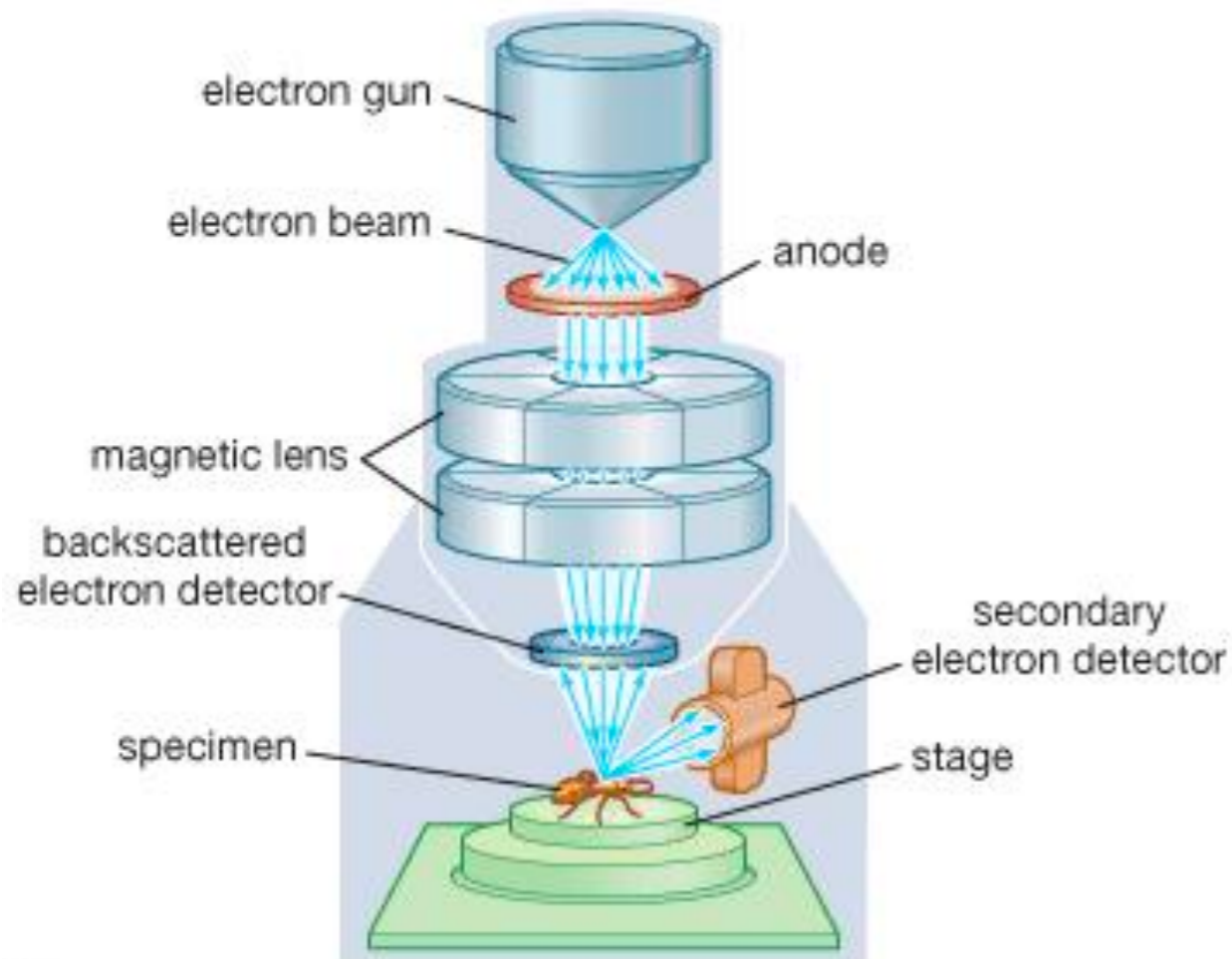


Ciclotrón

Sincrotrón



microscopios subcelulares



© 2008 Encyclopædia Britannica, Inc.

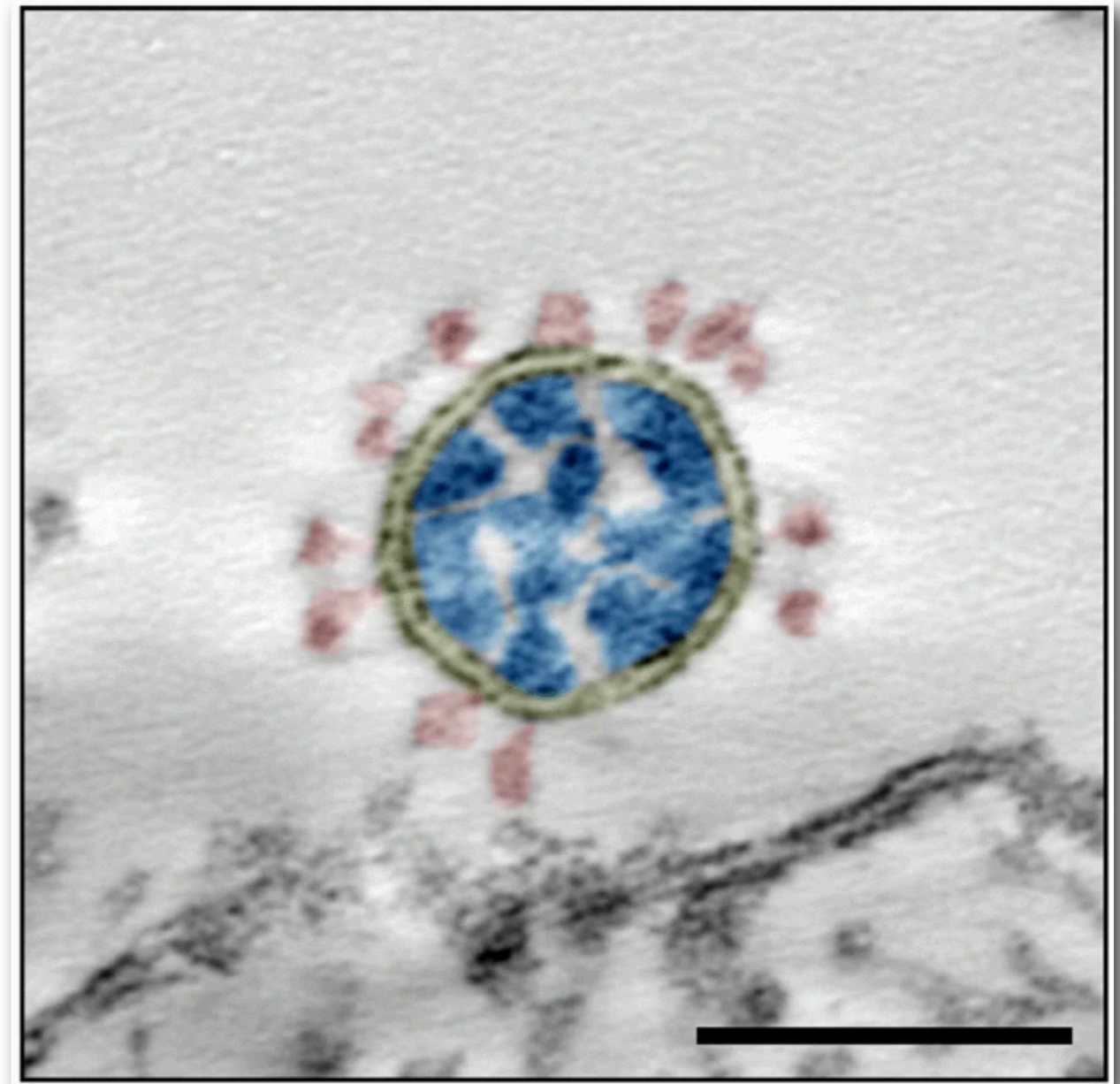
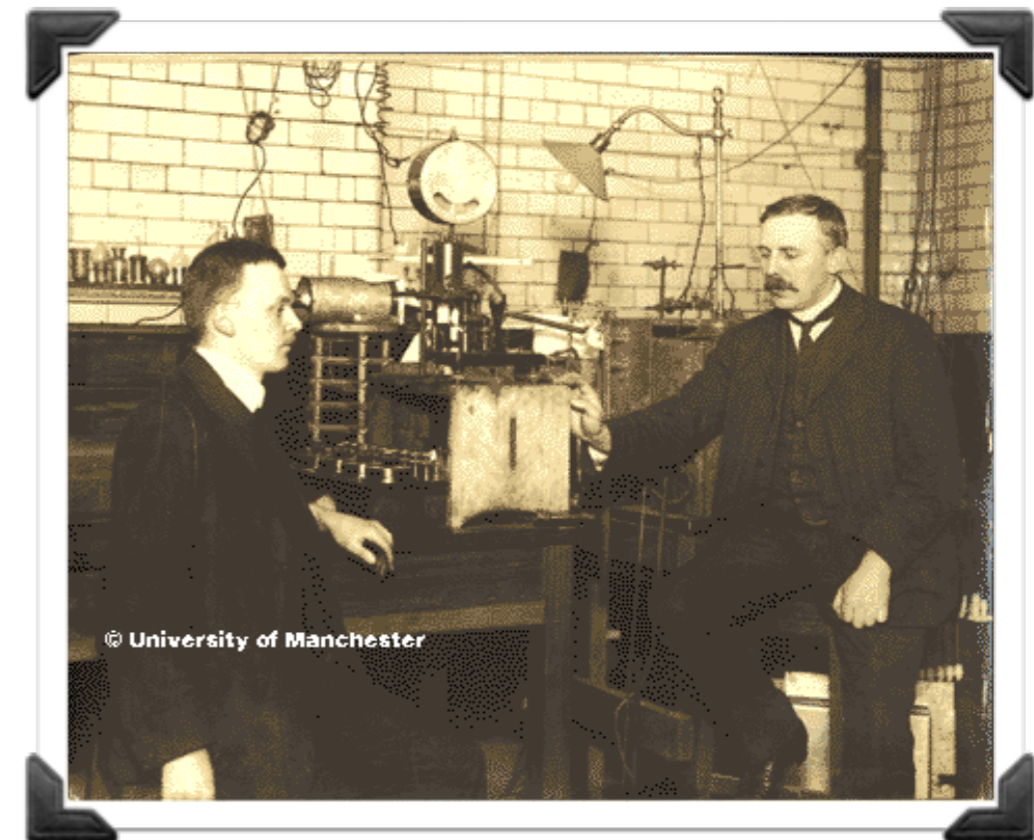
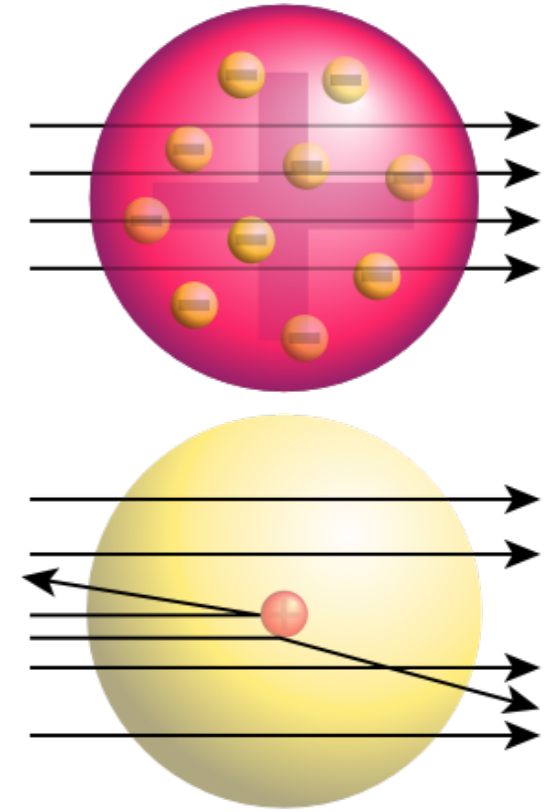


imagen de una partícula viral de SARS-CoV-2

[Laue et al., *Nature Sci. Rep.* 11, 3515 (2021)]

microscopios subatómicos

Rutherford Experiment:
Nuclear Atom



[http://www.youtube.com/watch?v=5pZj0u_XMbc]

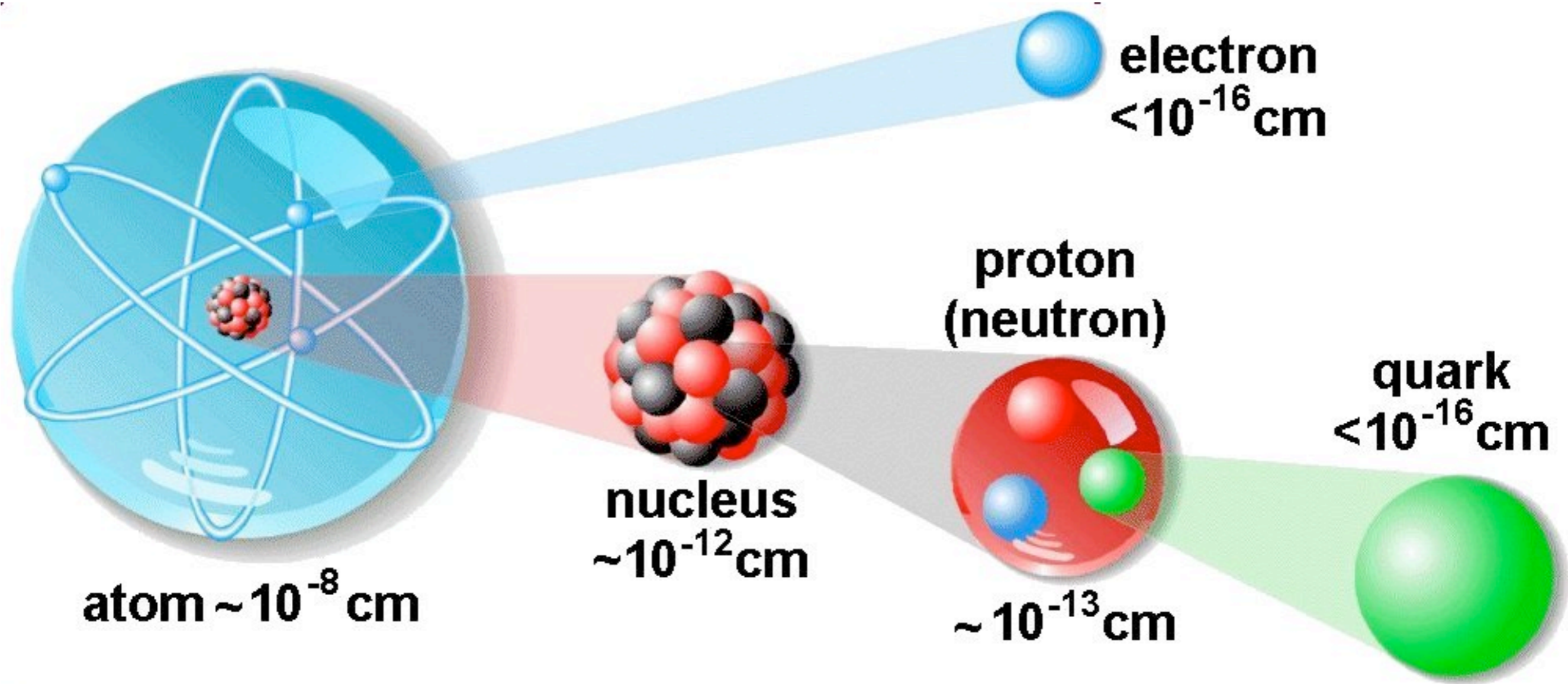
Geiger, Marsden; Rutherford

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	-71	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	-103	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

- Known in antiquity
- also known when (akw) Lavoisier published his list of elements (1789)
- akw Mendeleev published his periodic table (1869)
- akw Deming published his periodic table (1923)
- akw Seaborg published his periodic table (1945)
- also known (ak) up to 2000
- ak to 2012

la estructura del átomo



partículas elementales

Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass →	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name →	u up	c charm	t top	γ photon
Quarks	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d down	s strange	b bottom	g gluon
Leptons	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z⁰ weak force
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e electron	μ muon	τ tau	W[±] weak force

125.1 GeV
0
0
H EWSB

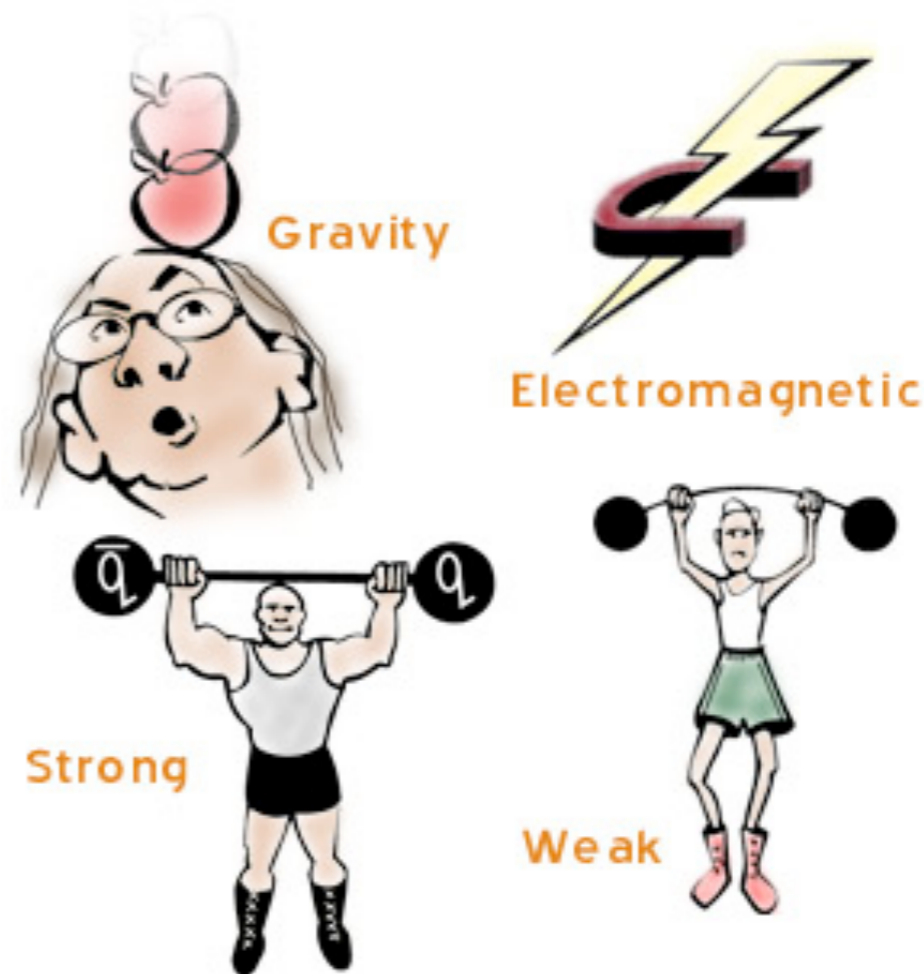
?

interacciones: el Modelo Estándar

Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass→	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
charge→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name→	u up	c charm	t top	γ photon
Quarks	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d down	s strange	b bottom	g gluon
Leptons	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z^0 weak force
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e electron	μ muon	τ tau	W^\pm weak force

Bosons (Forces)



Gravedad
Gravitón (no observado aún)
Todas

Fuerte
gluón
Quarks y Gluones

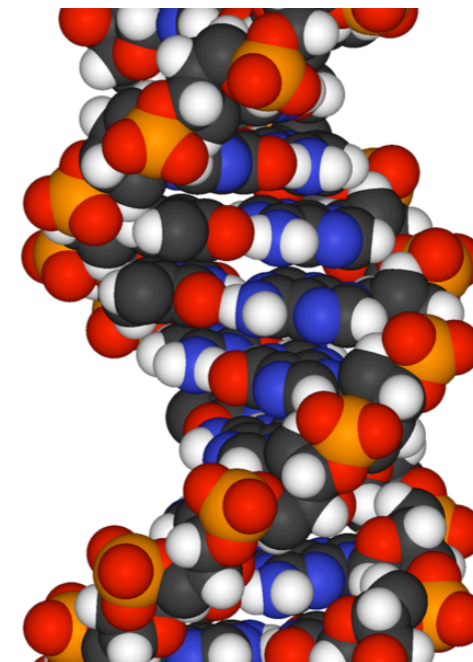
Débil	Electromagnética
W+ W- Z	Fotón
Quarks y Leptones	Quarks, Leptones cargados y W+ W- Z

interacción electromagnética

Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass→	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
charge→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name→	u up	c charm	t top	γ photon
Quarks	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d down	s strange	b bottom	g gluon
Leptons	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z^0 weak force
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e electron	μ muon	τ tau	W^\pm weak force

Bosons (Forces)

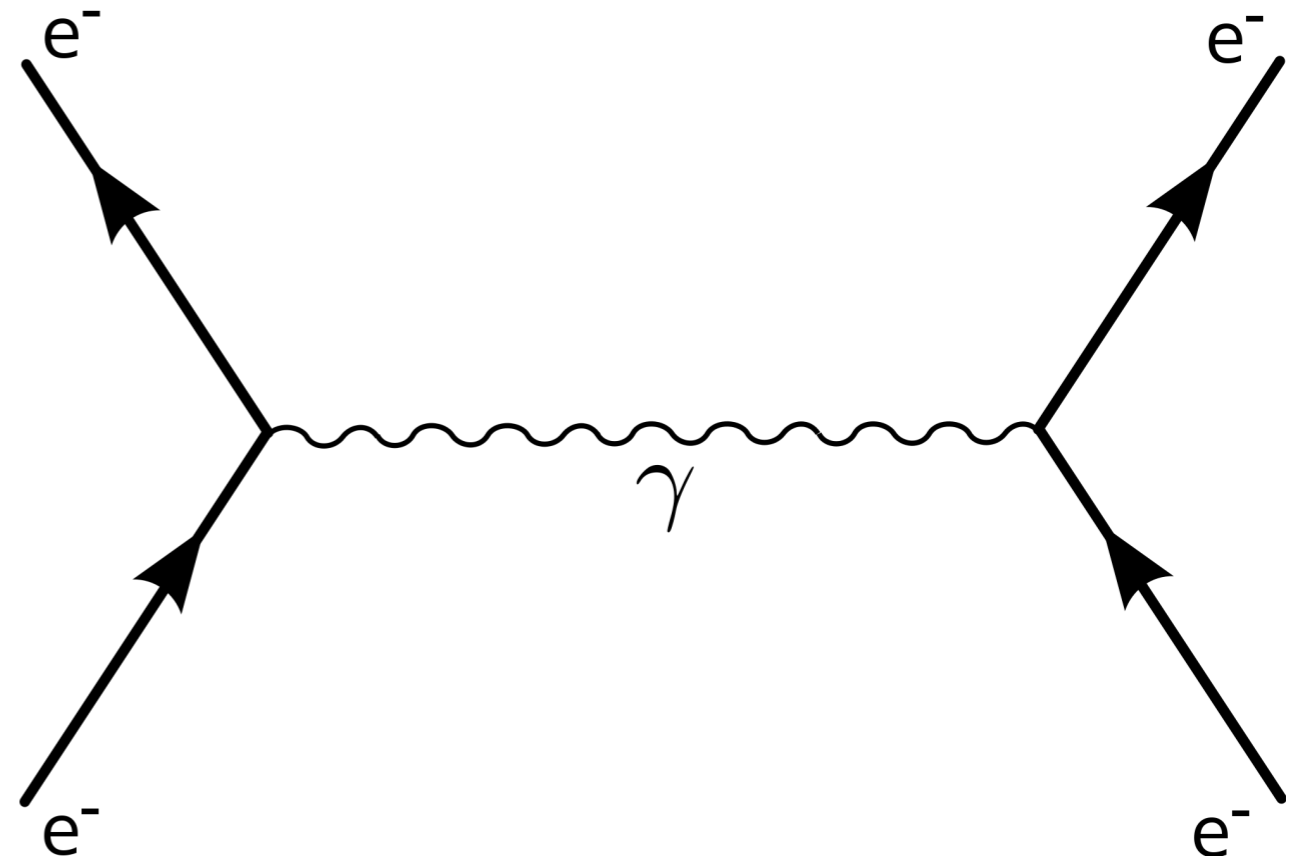


interacción electromagnética

Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass →	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name →	u up	c charm	t top	γ photon
Quarks	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d down	s strange	b bottom	g gluon
Leptons	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z^0 weak force
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e electron	μ muon	τ tau	W^\pm weak force

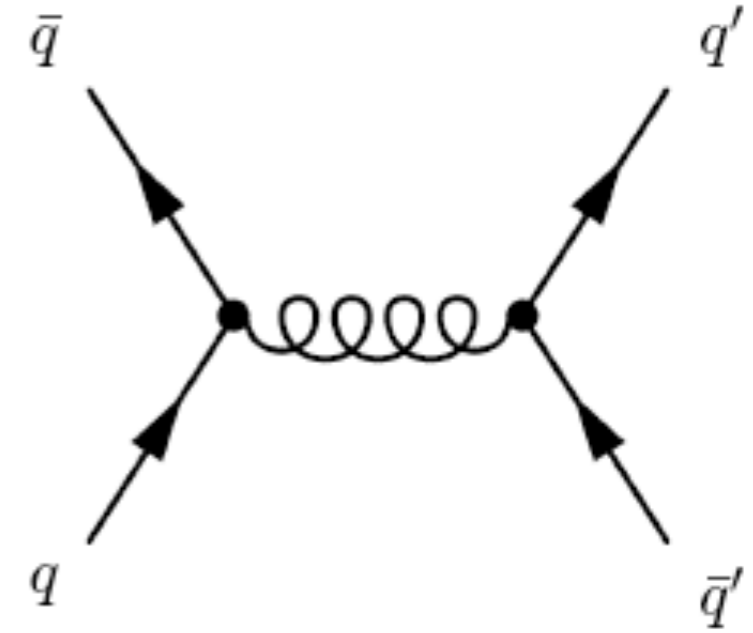
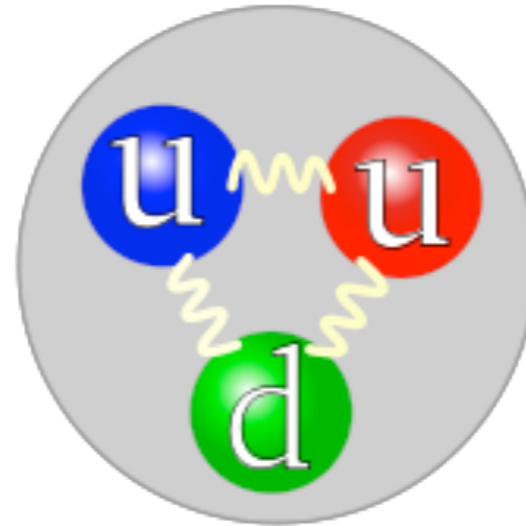
Bosons (Forces)



interacción nuclear fuerte

Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass →	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name →	u up	c charm	t top	γ photon
Quarks	4.8 MeV $-\frac{1}{3}$ d down	104 MeV $-\frac{1}{3}$ s strange	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$ b bottom	0 0 1 g gluon
	<2.2 eV 0 $\frac{1}{2}$ ν_e electron neutrino	<0.17 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ muon neutrino	<15.5 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ tau neutrino	91.2 GeV 0 1 Z⁰ weak force
	0.511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e electron	105.7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ muon	1.777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ τ tau	80.4 GeV ± 1 1 W[±] weak force
Leptons				Bosons (Forces)

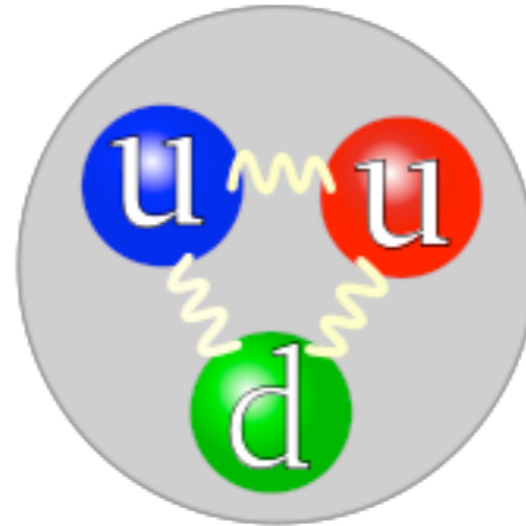


interacción nuclear fuerte

Bariones y Anti-bariones

Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass→	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
charge→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name→	u up	c charm	t top	γ photon
Quarks	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d down	s strange	b bottom	g gluon
Leptons	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z⁰ weak force
0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV	
-1	-1	-1	±1	
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	e electron	μ muon	τ tau	W[±] weak force



Baryons qqq and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$					
Baryons are fermionic hadrons. There are about 120 types of baryons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c^2	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
\bar{p}	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2
n	neutron	udd	0	0.940	1/2
Λ	lambda	uds	0	1.116	1/2
Ω⁻	omega	sss	-1	1.672	3/2

Mesones

Mesons $q\bar{q}$					
Mesons are bosonic hadrons. There are about 140 types of mesons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c^2	Spin
π⁺	pion	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
K⁻	kaon	$s\bar{u}$	-1	0.494	0
ρ⁺	rho	$u\bar{d}$	+1	0.770	1
B⁰	B-zero	$d\bar{b}$	0	5.279	0
η_c	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.980	0

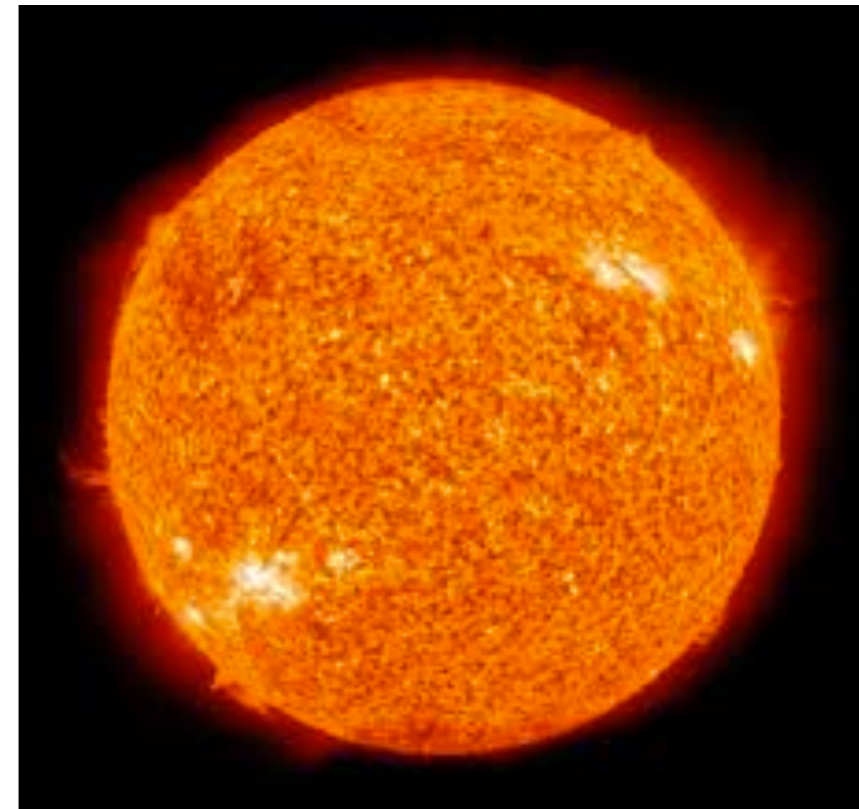
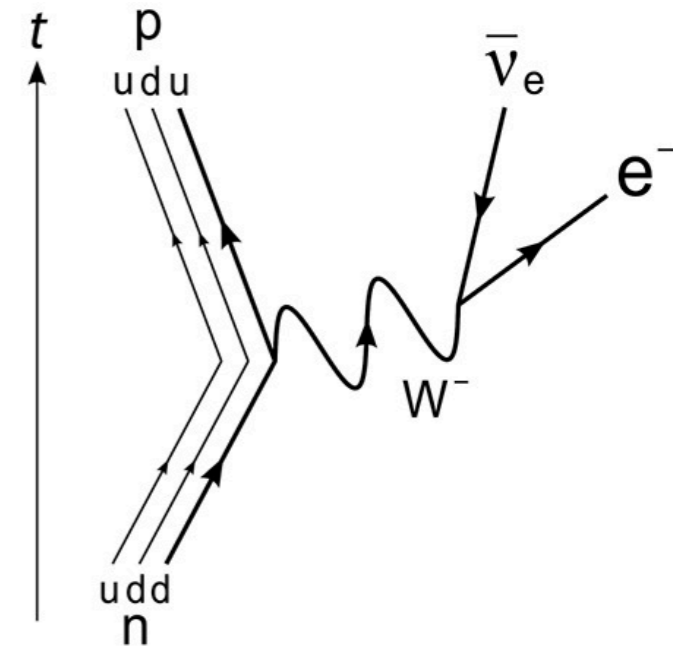
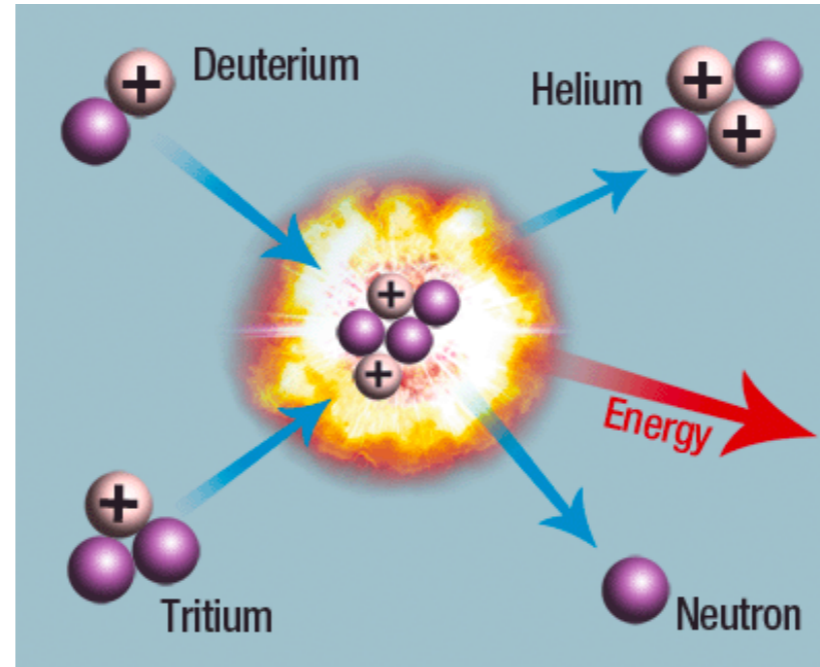
Bosons (Forces)

interacción nuclear débil

Three Generations of Matter (Fermions)

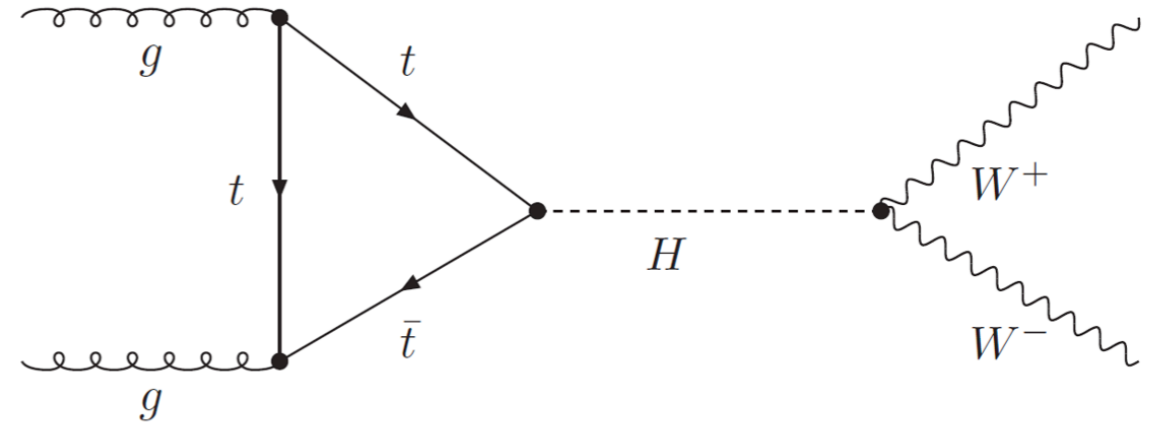
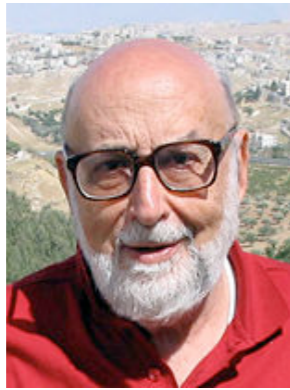
	I	II	III	
mass →	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name →	u up	c charm	t top	γ photon
Quarks	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d down	s strange	b bottom	g gluon
Leptons	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z⁰ weak force
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	±1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e electron	μ muon	τ tau	W[±] weak force

Bosons (Forces)



el bosón de Higgs

¿por qué tienen masa las partículas elementales con carga débil?



[Brout, Englert, Higgs,
Guralnik, Hagen, Kibble
1963-64]

[particle zoo]

bosón de Higgs: partícula asociada a la existencia de masa

Հայաստանի Հանրապետության
Կառավարության հրամանագրով
հաստատված
ՀՀ Կրթության նախարարության
հրամանագրով

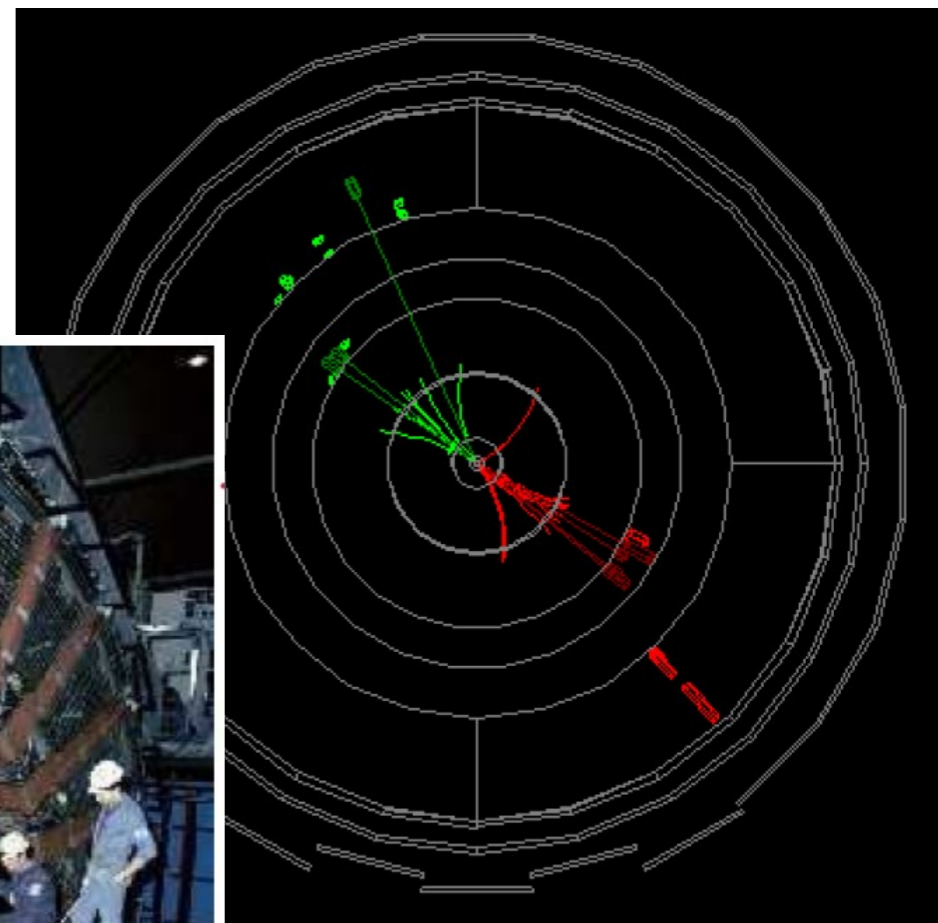


LHC: el Gran Colisionador de Hadrones



elementos del “microscopio”:

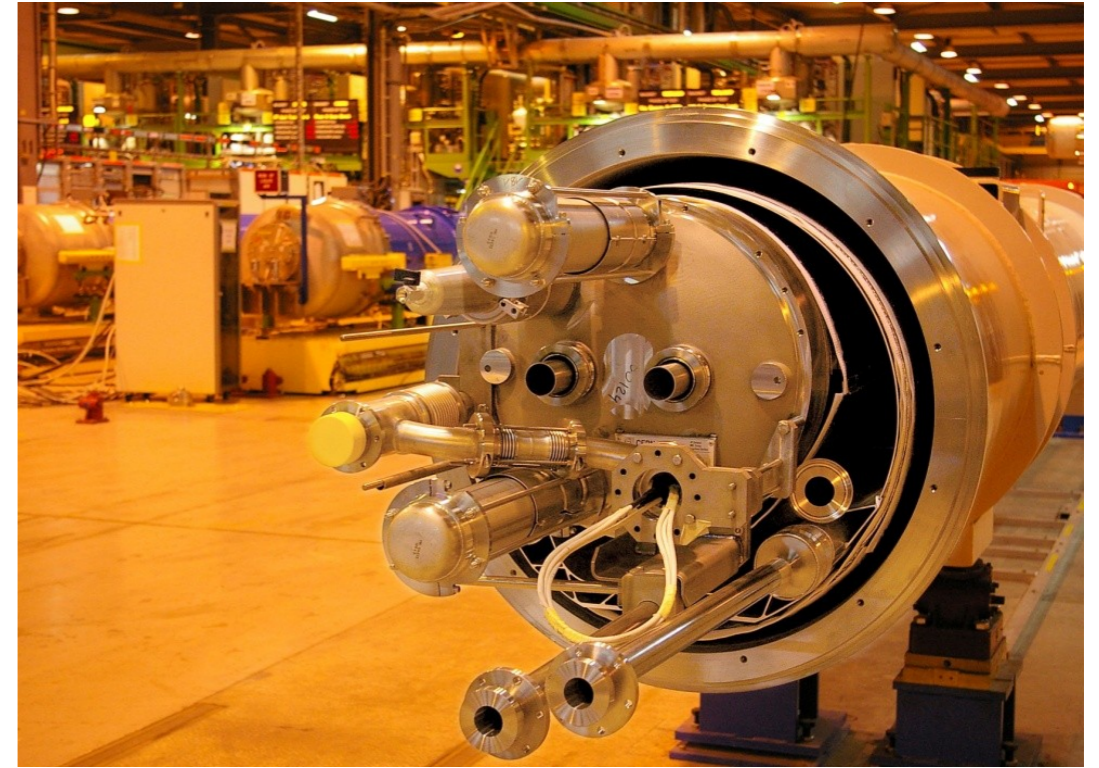
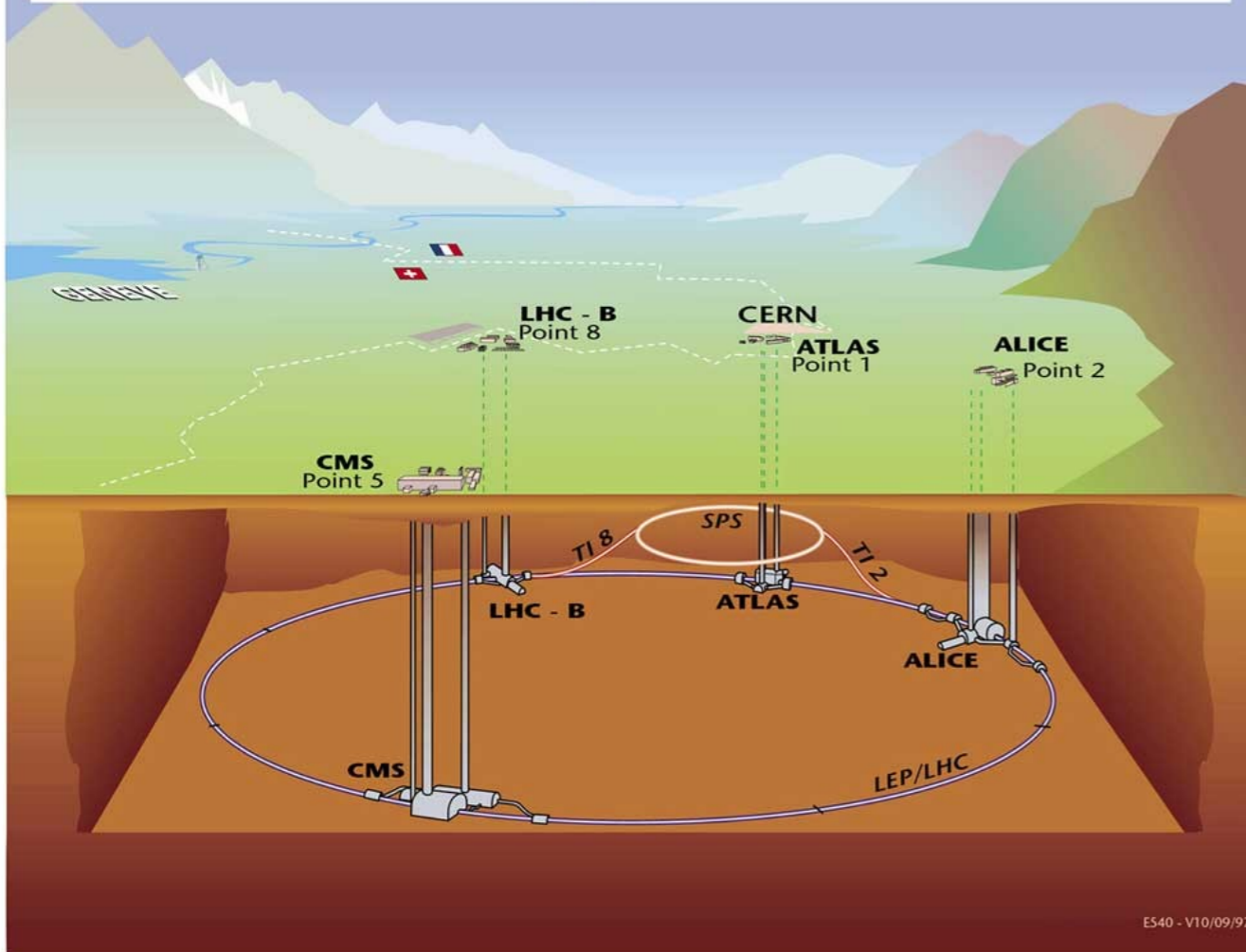
El Acelerador



“Fotografía” de la colisión

Los Detectores

Overall view of the LHC experiments.



Formado por más de 1600 imanes superconductores (-271°C)

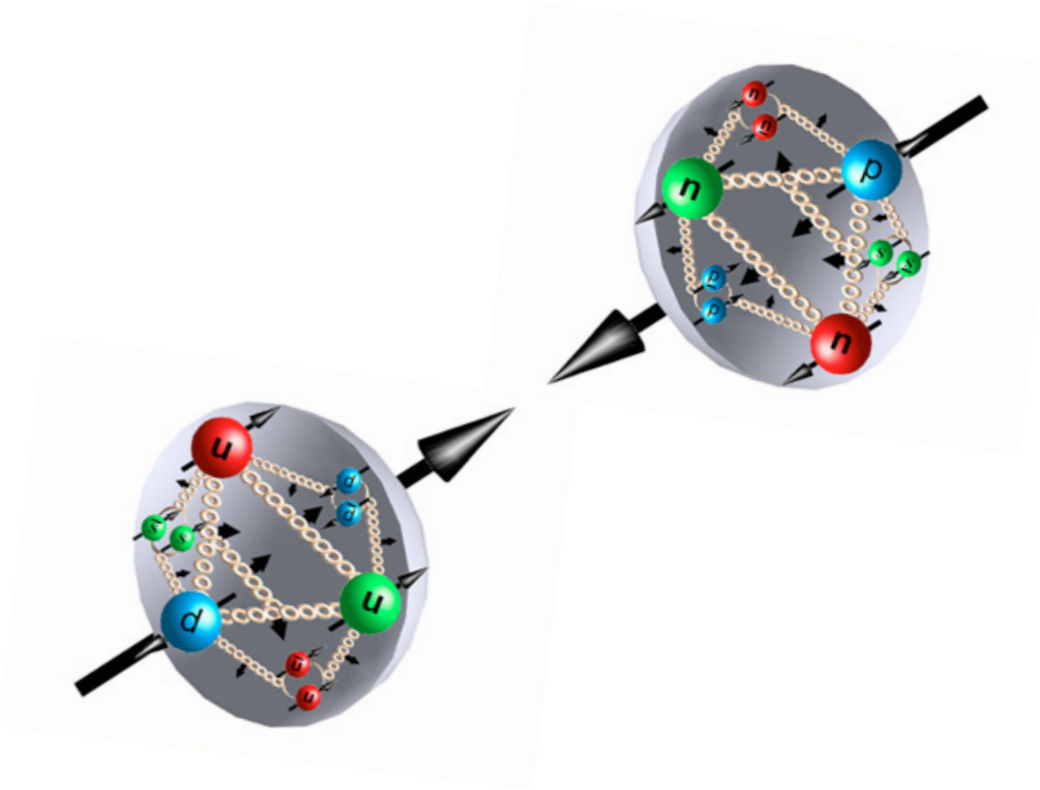
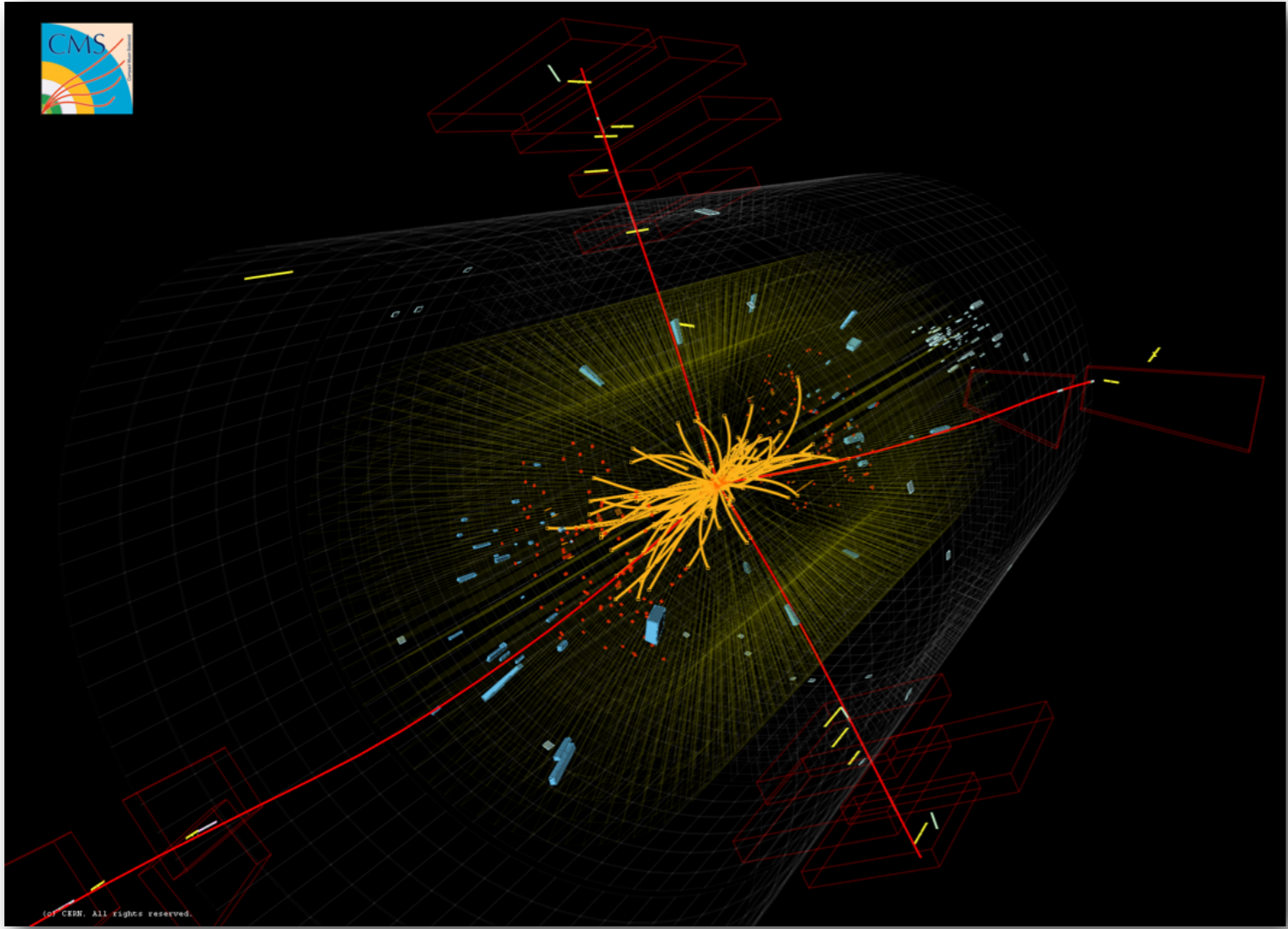


El túnel es el mismo que antes ocupaba el LEP (que aceleraba electrones y positrones)

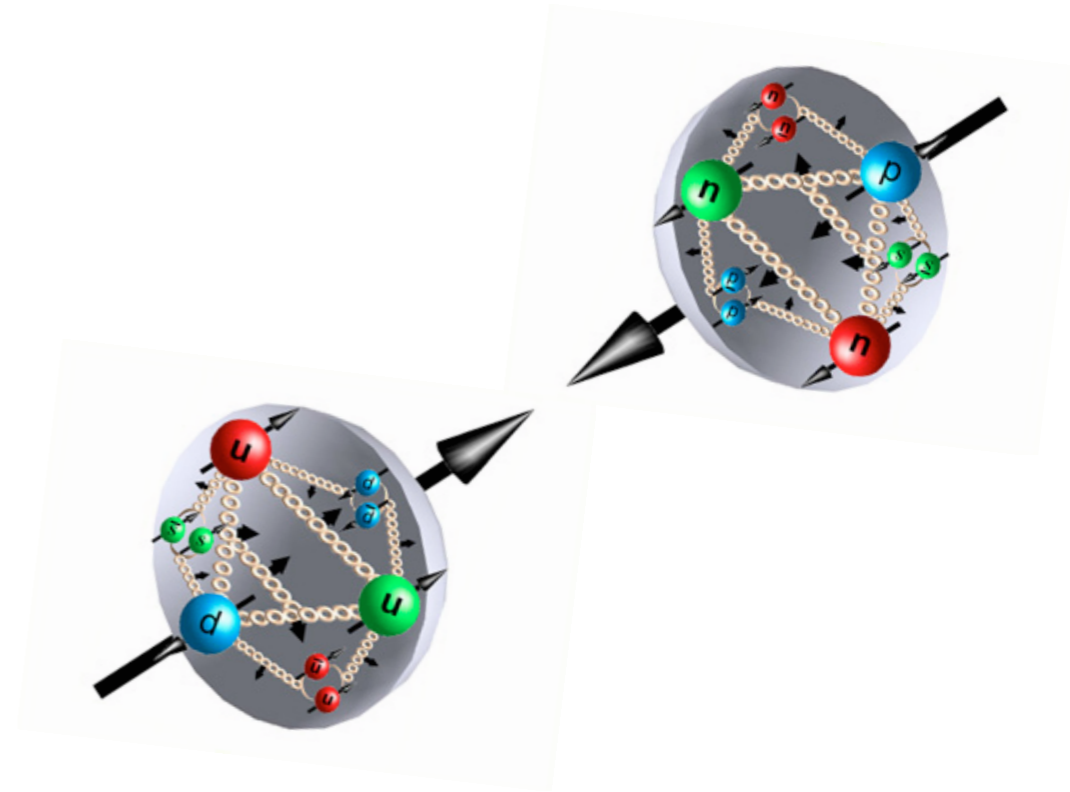
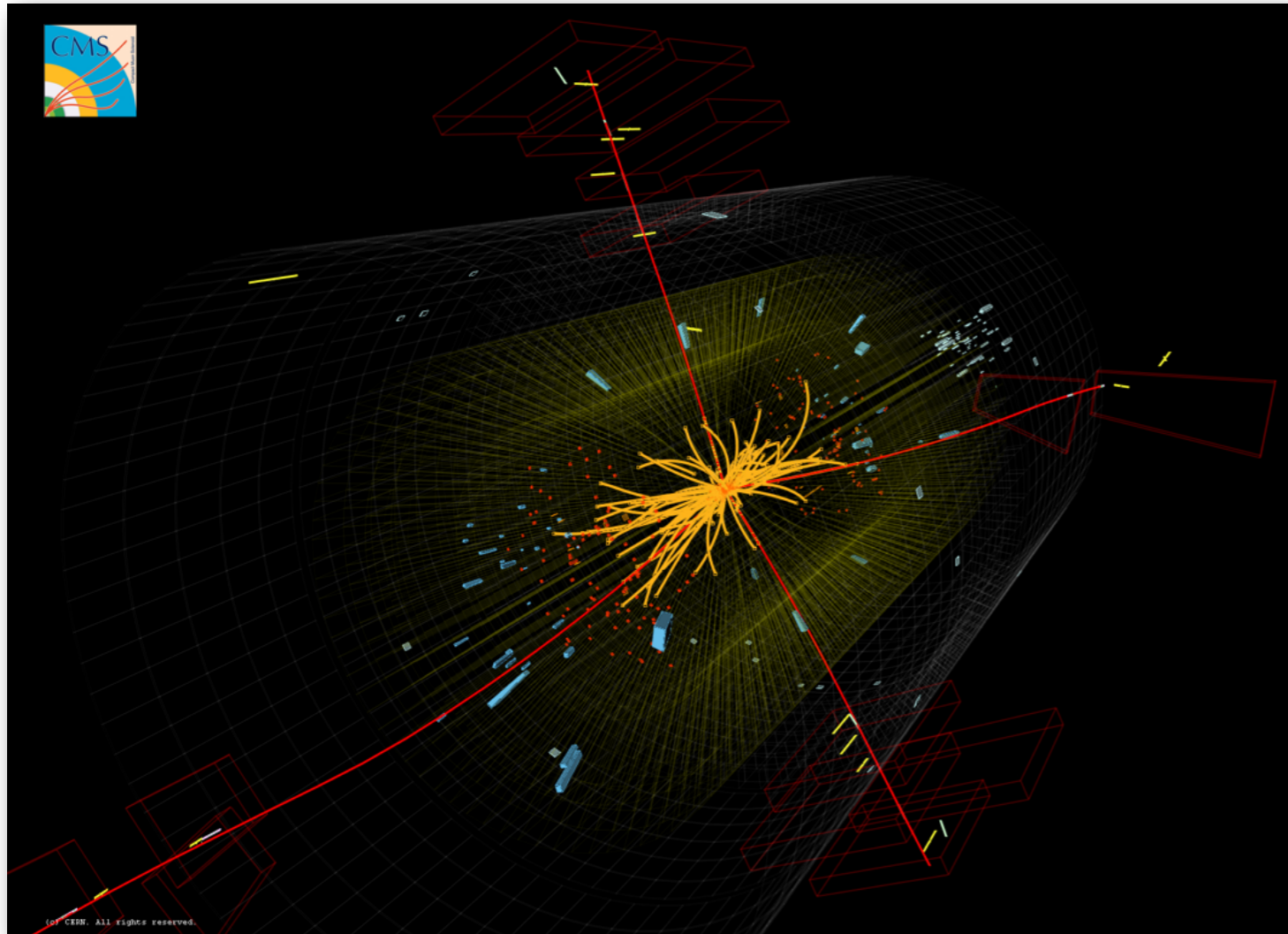
Quantity	number
Circunferencia	26 659 m
Temperatura de los dipolos	1.9 K (-271.3°C)
Número de imanes	9593
Nº de dipolos principales	1232
Nº de cuadrupolos principales	392
Nº de cavidades de radiofrecuencia	8 per beam
Energía nominal (protones)	7 TeV
Energía nominal (iones)	2.76 TeV/u (*)
Intensidad campo magnético (dipolos)	8.33 T
Dist. Mínima entre paquetes	~7 m
Luminosidad nominal	$10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Nº de paquetes por haz de protones	2808
Nº de protones por paquete	1.1×10^{11}
Nº de vueltas por segundo	11 245
Nº de colisiones por segundo	600 million

(*) Energía por nucleón

LHC acelera protones a altísimas energías



LHC acelera protones a altísimas energías



una colisión típica produce cientos de partículas

$$E=mc^2$$

y sólo conocemos la **probabilidad** de cada resultado posible



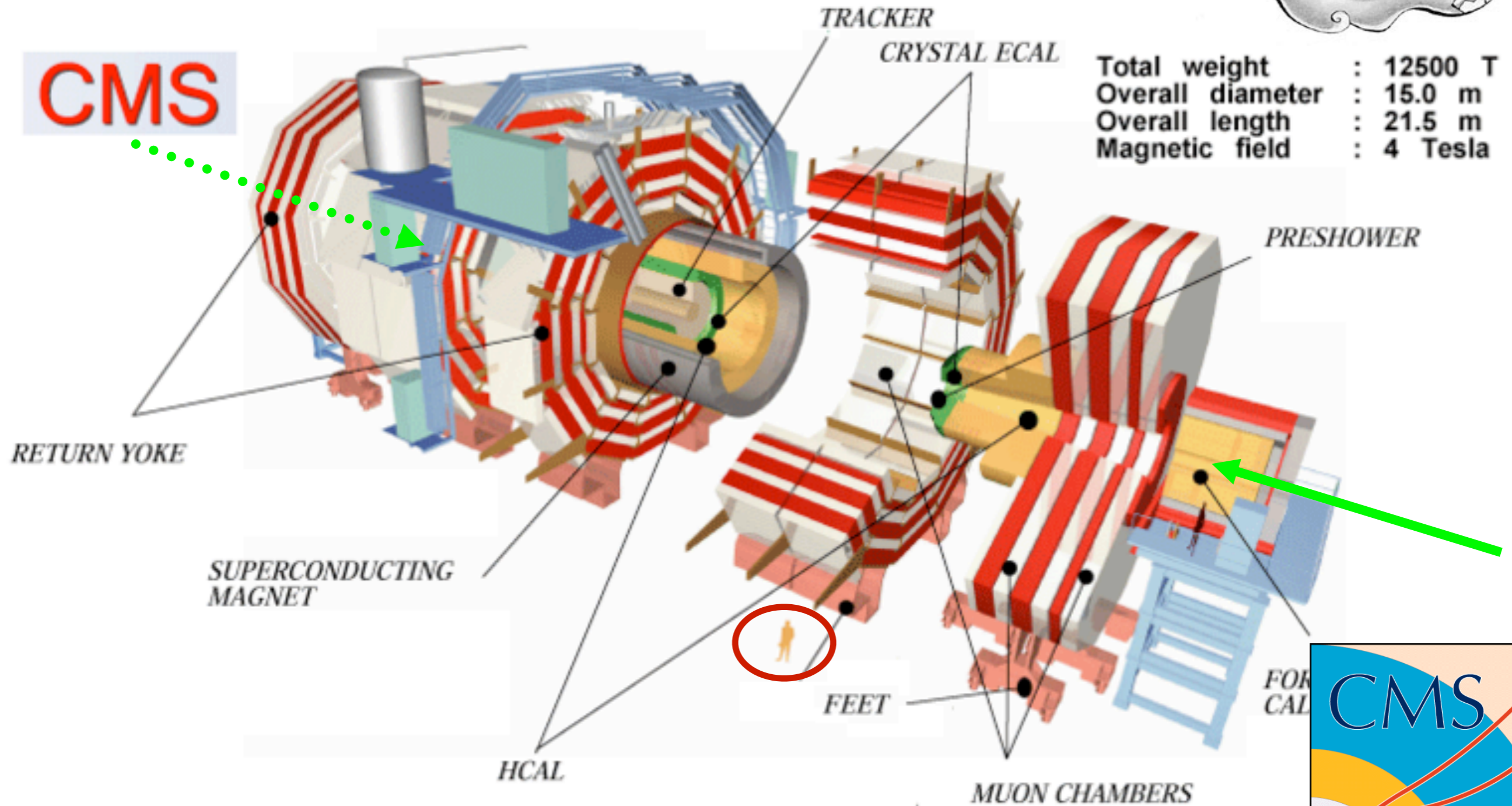


CMS

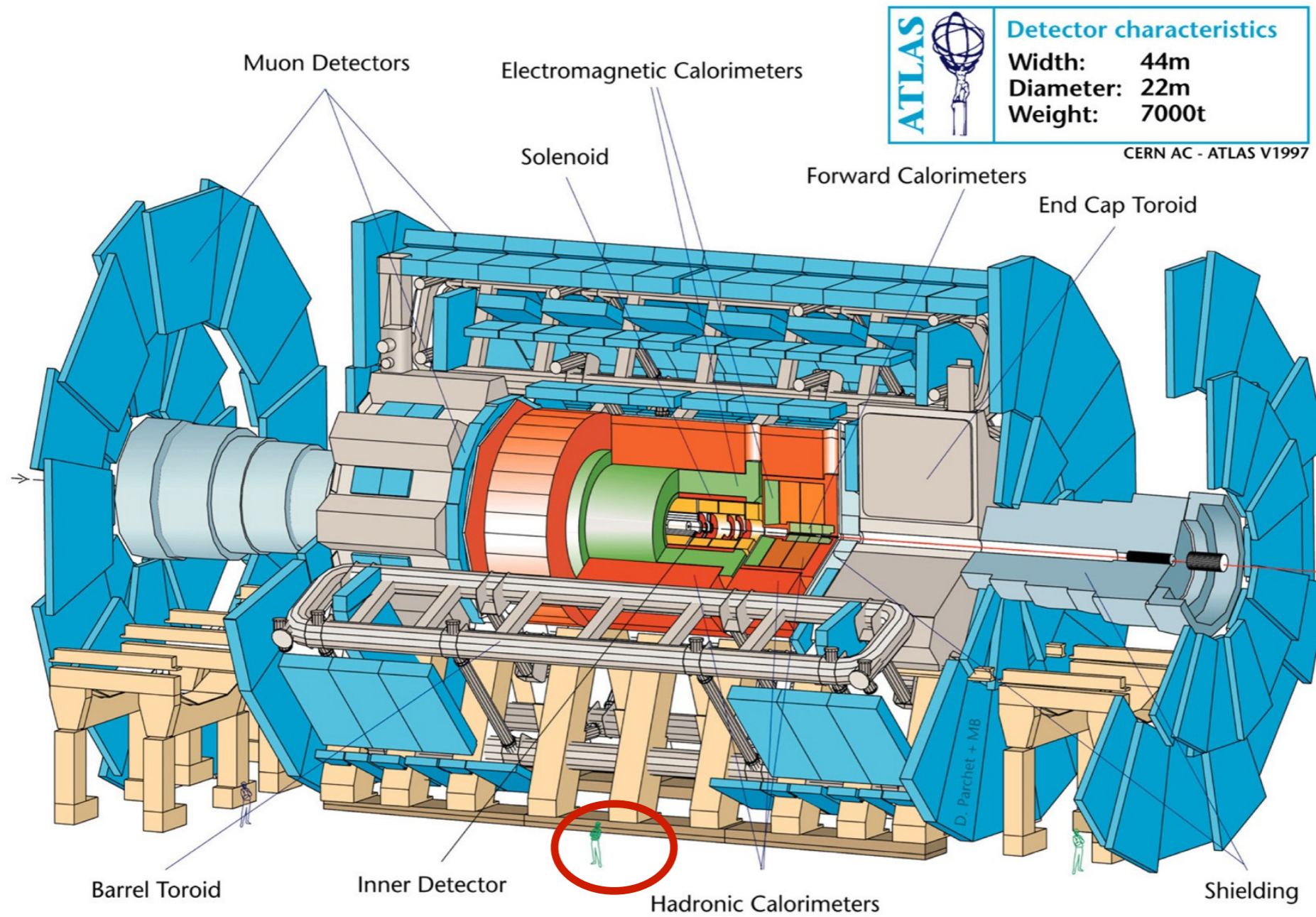



CMS

Total weight : 12500 T
Overall diameter : 15.0 m
Overall length : 21.5 m
Magnetic field : 4 Tesla

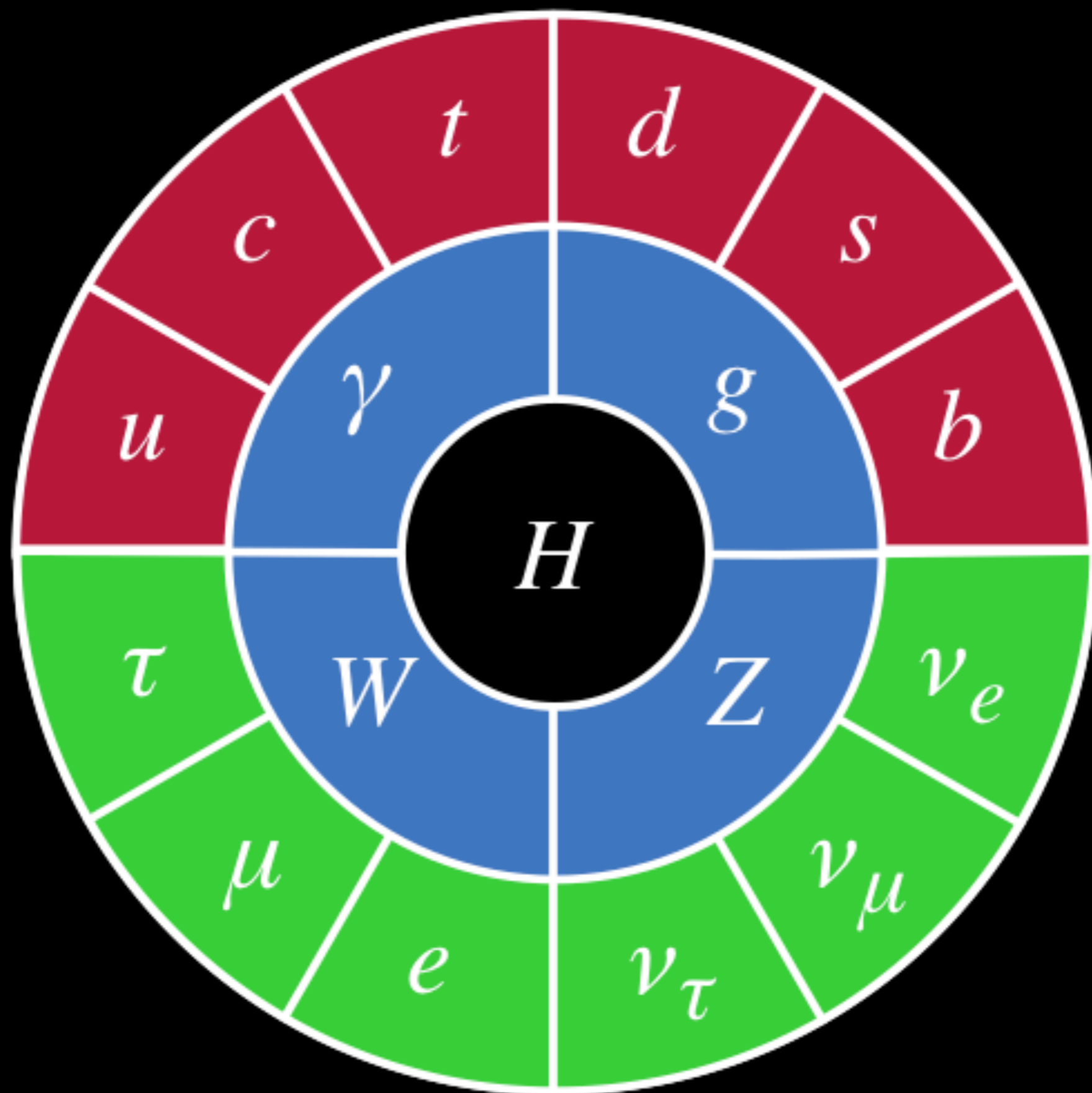


ATLAS



ATLAS 	Detector characteristics	
	Width:	44m
	Diameter:	22m
	Weight:	7000t

CERN AC - ATLAS V1997



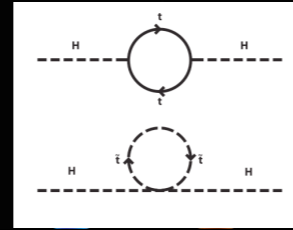
Misterios por resolver

Las 3 familias y sus masas



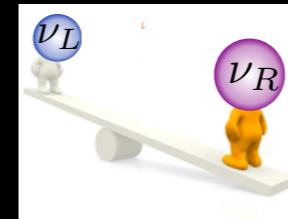
Las partículas de materia (quarks y leptones) se clasifican en 3 familias con propiedades idénticas (mismas cargas bajo las interacciones), pero muy distinta masa. ¿Cuál es el origen de las familias y la explicación de los valores de sus masas?

Jerarquía



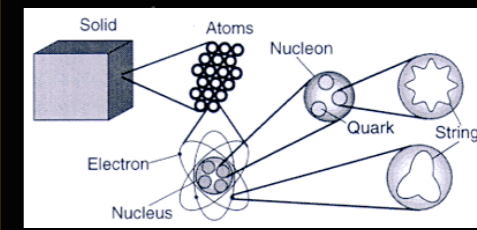
La masa del bosón de Higgs es muchos órdenes de magnitud menor que otras escalas de la naturaleza, como la escala de Planck (que controla las interacciones gravitacionales). ¿cuál es el mecanismo responsable de esta enorme diferencia?

Neutrinos



La masa de los neutrinos es pequeñísima, pero no nula. Para incorporarlas al Modelo Estándar, y explicar su diminuto valor, el mecanismo del balancín (*seesaw*) postula la existencia de nuevos tipos de neutrinos con masas enormes y aún no observados.

Gravedad y cuerdas

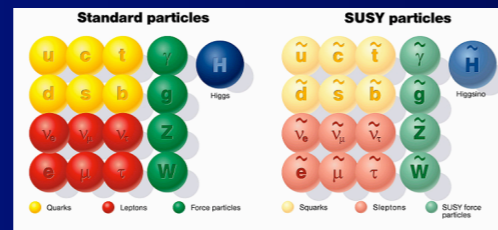


El Modelo Estándar no incluye la gravedad, porque no se sabe describir dentro de la Mecánica Cuántica. La teoría de cuerdas proporciona esta descripción, y sugiere la posible unificación, a altísimas energías, de todas las partículas y fuerzas conocidas.

Supersimetría (SUSY)

La **Supersimetría** propone que para **cada partícula del Modelo Estándar existen una partícula compañera** con las mismas cargas, pero distinto espín y mucha mayor masa. Estas masas estarían en el rango de energías alcanzable por el LHC, que podría descubrir las partículas supersimétricas. (*squarks, sleptones, gluinos, fotino, Wino, Zino y Higgsinos*)

La Supersimetría solucionaría parcialmente el **problema de la jerarquía** (ver recuadro "misterios por resolver"). La partícula supersimétrica más ligera podría explicar la materia oscura del Universo (ver recuadro). Finalmente, la supersimetría está íntimamente ligada con la gravedad (en la teoría de **supergravedad**) y aparece en **teoría de cuerdas**.



Modelos compuestos

De igual manera que los protones y neutrones son partículas compuestas de otras más fundamentales (los quarks), los **modelos compuestos** proponen que las partículas consideradas elementales (los quarks, leptones, el bosón de Higgs, ...) están realmente compuestas de otras más pequeñas. Éstas partículas más elementales estaría confinadas por nuevas interacciones, mucho más intensas que cualquier otra.

Un bosón de Higgs compuesto proporcionaría una solución al problema de la jerarquía alternativa a la supersimetría. Los modelos predicen que las partículas compuestas estaría acompañadas de un espectro de resonancias masivas, que se podrían descubrir en el LHC.

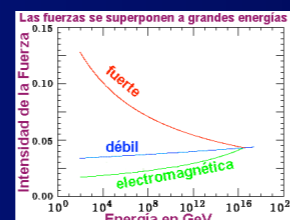


Teorías de Gran Unificación (GUTs)

Las intensidades de las interacciones electromagnética, débil y fuerte, se vuelven prácticamente iguales cuando se extrapolan a muy altas energías. Las **teorías de Gran Unificación (GUTs)** proponen que las distintas interacciones que observamos son distintas manifestaciones de una única fuerza, de la que se originan por una ruptura espontánea de la simetría (mediante un mecanismo similar al del campo de Higgs).

La unificación de intensidades de interacción es más precisa en el contexto de supersimetría, y motiva los modelos **SUSY-GUT**.

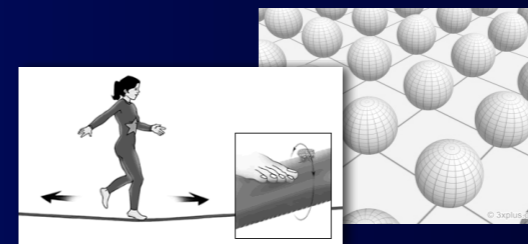
Las (SUSY)GUTs predicen la **desintegración del protón** mediada por bosones de interacción masivos. Aunque su vida media sería extremadamente larga, existen experimentos buscando la observación de esta inestabilidad del protón.

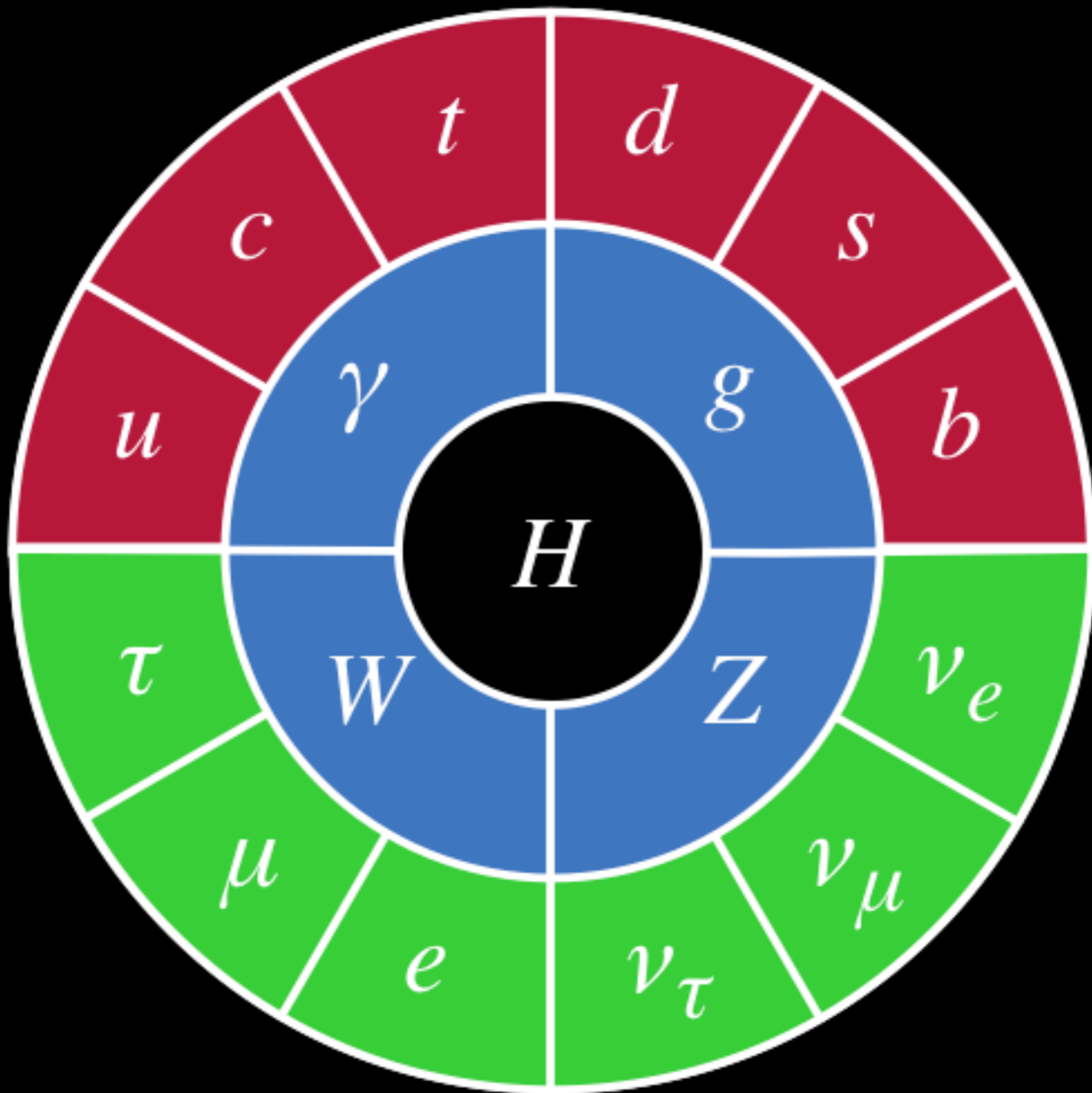


Dimensiones extra

En ciertos modelos (como en teoría de cuerdas), además de las 3 dimensiones espaciales de la experiencia cotidiana, existen **dimensiones adicionales** que jugarían un papel en la Física de Partículas. Las dimensiones extra estarían curvadas a un tamaño diminuto, y sólo sería accesibles a energías muy altas (es decir, en experimentos con resolución espacial altísima).

En ciertos modelos, las dimensiones extra se podrían descubrir en el LHC, detectando resonancias masivas de las partículas conocidas, o procesos con "energía perdida" (*missing energy*), en los que partículas que escapan en las dimensiones extra son responsables de cierta cantidad de energía no detectada.





??
??
??

??
??